

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра мікро- та наноелектроніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о.завідувача кафедри

_____ **Анатолій ОРЛОВ**
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2020р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за спеціальністю 153 Мікро-та наносистемна техніка
(код і назва)

на тему: Мікроелектронна система моніторингу та аналізу стану забруднення
атмосферного повітря

Виконав: студент 4 курсу, групи ДП-62

(шифр групи)

Гонтаренко Юрій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник ст. викладач Лупина Борис Іванович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з нормоконтролю доц., к.ф.-м.н., с.н.с.

_____ **Георгій СВЄЧНИКОВ**

Консультант з інформаційних питань доц., к.т.н., Юрій ДІДЕНКО

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

Кафедра мікро- та наноелектроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 153 Мікро-та наносистемна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Анатолій ОРЛОВ

« ____ » червня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту
Гонтаренку Юрію Олександровичу

1. Тема роботи « Мікроелектронна система моніторингу та аналізу стану забруднення атмосферного повітря »

керівник роботи Луцина Борис Іванович, старший викладач, к.т.н.
затверджені наказом по університету від « ____ » ____ 2020 р.

2. Термін подання студентом роботи : « ____ » ____ 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи:

4. Зміст роботи:

- Огляд норм моніторингу та індексації якості повітря в Європі та Україні.
- Аналіз найбільших забрудників повітря, фізичні методи їх виявлення і кількісної оцінки, вплив на організм людини.
- Вибір первинних перетворювачів для створення аналізатора атмосферного повітря.
- Ознайомлення із принципами роботи і архітектурою контролера Arduino.
- Розробка електронних схем підключення та блок-схеми системи моніторингу стану та аналізу ступеню забруднення, висновки та рекомендації для подальшої роботи.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) _____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Підпис керівника
1.	Пошук та ознайомлення з літературними джерелами за темою практики.		
2.	Аналіз сновних забруднюючих компонентів атмосферного повітря, фізичних методів їх реєстрації, структурної схеми сучасної системи моніторингу та аналізу.		
3.	Аналіз метрологічних характеристик мікро-електронних первинних перетворювачів для системи моніторингу та аналізу стану забруднення атмосферного повітря.		
4.	Макетування вимірювальних каналів.		
5.	Оформлення звіту, аналіз результатів, формулювання висновків та рекомендацій, перевірка, захист.		

Студент

(підпис)

Ю.О. Гонтаренко

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Б.І. Луцина

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Метою роботи є розробка системи поточного контролю температури, вологості, атмосферного тиску повітря на основі сучасної мікроелектронної компонентної бази, а також моніторингу та аналізу стану забруднення повітря в частині визначення концентрації летючих органічних сполук (TVOC) і еквівалентного рівня діоксиду вуглецю (eCO_2). Дипломна робота орієнтована на поглиблене вивчення фізичних методів визначення вмісту найбільших забрудників повітря та передбачає аналіз сучасного стану ринку електронних первинних перетворювачів в названій сфері та контролерів для побудови систем моніторингу та аналізу.

В першому розділі дипломної роботи розглянуто нормативну базу в сфері отримання та аналізу інформації про поточний стан атмосферного повітря, проаналізовано відмінності в підходах до індексації якості повітря в Європі та Україні, визначено їх недоліки та переваги.

У другому розділі розглянуто методики визначення вмісту основних забрудників повітря та проведено аналіз структурних схем аналізаторів, розглянуто особливості їх ключових конструктивних елементів, проведено порівняння конструкції і архітектури, наведено окремі принципові схеми вимірювання.

В третьому розділі розглянуто сучасні типи мікроелектронних первинних перетворювачів фізичних параметрів атмосферного повітря, його хімічного складу та механічних забрудників. Проаналізовано технічні та метрологічні параметри сучасних сенсорних пристроїв з оглядом на відповідність сучасним вимогам, нормам, типам інтерфейсів. За результатами детального вивчення інформації у зазначених областях вибрано мікроелектронні сенсори з цифровим вихідним інтерфейсом для побудови мікроконтролерних системи моніторингу:

- сенсор температури, вологості та атмосферного тиску BME 280;
- мікромеханічний сенсор абсолютного тиску моделі BMP180 (висоти над рівнем моря) з роздільною здатністю 6 кПа (відповідає роздільній здатності

за зміною висоти 0.5 м) в режимі ультра-низького споживання та 2 hPa кПа (відповідає зміні висоти 0.17 м) в режимі прецизійного вимірювання;

- сенсор комплексного визначення якості повітря Adafruit CCS811 з можливістю визначення рівня летючих органічних сполук та ефективного рівня CO₂ (CCS811 - Adafruit CCS811 Air Quality Sensor Breakout - VOC and eCO₂) з додатковим вбудованим блоком прецизійного сенсора температури і вологості HDC1080.

Для проектування системи моніторингу використано контролер ARDUINO UNO. В роботі запропоновано структурну схему системи і наведено схему підключення кожного з компонентів. Також у третьому розділі розроблено програмний код у програмному середовищі Arduino IDE для підключення окремих компонентів системи моніторингу до мікроконтролера, проведено його налаштування.

Загальний обсяг роботи: ** сторінок, ** ілюстрацій, * таблиць, ** посилань, * додаток.

Ключові слова: система моніторингу, моніторинг стану та основні забрудники повітря, аналізатор на загальну кількість летючих органічних сполук (TVOC), аналізатор на еквівалентний рівень індексу діоксиду вуглецю, контролер ARDUINO UNO.

ABSTRACT

The work aim is an air quality system development for temperature, humidity, atmospheric pressure monitoring based on modern microelectronic components, as well as for monitoring and analysis of air pollution in terms of volatile organic compounds (TVOC) and equivalent levels of carbon dioxide and other pollutant gases concentration determination. Thesis is focused on in-depth study of physical methods for determining the the largest air pollutants content, on the electronic sensors current state analysis in this area and controllers choice for monitoring and analysis systems design. The first section of the thesis considers the regulatory framework in the field of obtaining and analyzing information about the atmospheric air current state, analyzes the differences in approaches to air quality indexing in the both Europe and Ukraine, identifies their disadvantages and advantages. The second section considers the methods of the major air pollutants content determining and analyzes the structural schemes of analyzers, considers the features of their key structural elements, compares the design and architecture, provides some basic electronic circuits. The third section considers modern types of atmospheric air physical parameters microelectronic sensors, its chemical composition and mechanical pollutants. The modern sensor technical and metrological parameters are analyzed with regard to compliance with modern requirements, norms, types of interfaces. Based on the results of a detailed study of information in these areas, modern microelectronic sensors with a digital output interface were selected to build microcontroller monitoring systems:

- BME280 temperature, humidity and atmospheric pressure sensor;
- micromechanical absolute pressure sensor model BMP180 (altitude) with a resolution of 6 kPa (corresponds to a change in altitude 0.5m) in the ultra-low consumption mode and 2 hPa kPa (corresponds to a change in altitude 0.17m) in the mode of precision measurement;
- Adafruit CCS811 integrated air quality sensor with the ability to determine the level of volatile organic compounds and effective CO₂ level (CCS811 - Adafruit CCS811 Air Quality Sensor Breakout - VOC and eCO₂) with an additional built-in unit

of precision temperature and humidity sensor HDC1080. The ARDUINO UNO controller was used to design the monitoring system. The structural scheme of the system is offered and the scheme of connection of each of components is resulted in the work. Also the program code in the Arduino IDE software environment for separate components of the monitoring system is developed, its adjustment is carried out.

Total work: ** pages, ** illustrations, * tables, ** links, * appendix.

Key words: monitoring system, condition monitoring and main air pollutants, analyzer for total volatile organic compounds (TVOC), analyzer for equivalent level of carbon dioxide index, ARDUINO UNO controller.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	8
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП	10
1. МОНІТОРИНГ ТА ІНДЕКСАЦІЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	11
1.1 Індекс якості повітря. Визначення і використання	11
1.2 Індексція у Європі	15
1.3 Моніторинг в Україні	16
1.4 Висновки	18
2 АНАЛІЗ ЗАБРУДНИКІВ ТА ПРИНЦИПИ ЇХ ВИМІРЮВАНЬ	20
2.2 Оксид вуглецю (CO).	20
2.3 Формальдегід	23
2.4 Діоксид сірки (SO ₂)	27
2.5 Тверді частки (PM ₁₀) та дрібні тверді частки (PM _{2.5})	31
2.6 Діоксид азоту (NO ₂)	32
2.7 Озон	35
2.8 Висновки	40
3 СТРУКТУРА СЕНСОРІВ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ	41
3.1 Сенсор температури, вологості та атмосферного тиску BME280.	41
3.2 Сенсор газу CJMCU-8118, до складу якого входять CCS811 та HDC1080.	44
3.3 BMP180	52
3.4 ARDUINO UNO	55
3.5 Схема роботи газоаналізатора.	58
3.6 Висновок.	61
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	64

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ,ТЕРМІНІВ

ГДК – гранично допустима концентрація компоненти в повітрі,

ЛОС - леткі органічні сполуки

CO – окис вуглецю (чадний газ)

CO₂ – діокис вуглецю

NO₂ - Діоксид азоту

SO₂ - Діоксид сірки

VOC – Volatile Organic Compound

O₃ - Озон

PSI - Стандартний загальний показник забруднення повітря (Pollutant Standards Index),

PubMed - електронна база даних медичних і біологічних публікацій

ВСТУП

Проблема надійного та метрологічно достовірного моніторингу та аналізу повітря в Україні протягом 2019 – 2020 років стала ще більш актуальною з декількох причин. По - перше, за кліматичних змін, що супроводжуються тривалими періодами з низьким рівнем атмосферних опадів, останніх пожеж у лісах, тому числі зони відчуження навколо Чорнобильської АЕС, різкого підвищення кількості автомобільного транспорту підвищився рівень забруднення атмосферного повітря механічними частками, СО та СО₂. По - друге, система аналізу вмісту окремих забруднюючих компонент застаріла, наслідком чого є занижені середні значення критичних забруднень, які часто не відповідають європейським нормам. По-третє, наявність місць моніторингу в Україні недостатньо висока, особливо у великих містах та промислово розвинених регіонах. В той же час, подібна проблематика є надзвичайно актуальною у всьому світі, а розроблювані первинні перетворювачі, системи моніторингу і аналізу переважно виготовлені за сучасними мікроелектронними технологіями. Викладене вище послужило приводом для визначення теми цієї дипломної роботи.

Для початку потрібно визначитись з нормативною базою, нормами індексації повітря та методиками її визначення в Україні та Європі, формами організації та проведення моніторингу та аналізу стану атмосферного повітря, повітря робочих зон промислових підприємств, офісних та жилих приміщень для встановлення переваг і недоліків кожної з названих компонент.

1. МОНІТОРИНГ ТА ІНДЕКСАЦІЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.

1.1 Індекс якості повітря. Визначення і використання

Існує шість рівнів індексу якості повітря, а саме: добрий, задовільний, помірно забруднений, високий, дуже високий і небезпечний. Запропонований індекс якості повітря охоплює **вісім забруднювальних речовин** (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, Оз, NH₃, і Pb).

Ризик: Низький (1–3) Середній (4–6) Високий (7–10) Дуже високий (10+)

Ризик здоров'я	Індекс здоров'я за якістю повітря	Повідомлення
	Для людей з категорії ризику	Для загального населення
Низький 1–3	Можна займатись повсякденною діяльністю	Якість повітря сприяє діяльності на відкритому повітрі
Середній 4–6	Слід зменшити або перепланувати напружену діяльність на відкритому повітрі, якщо ви відчуваєте симптоми.	Якщо ви не відчуваєте такі симптоми, як кашель і біль у горлі, то немає необхідності вносити зміни в свою звичайну діяльність на свіжому повітрі
Високий 7–10	Необхідно зменшити або перепланувати напружену діяльність на відкритому повітрі.	Слід зменшити або перепланувати напружену діяльність на відкритому повітрі, якщо ви відчуваєте такі симптоми, як кашель і біль у горлі.
Дуже високий 10+	Уникайте напруженої діяльності на відкритому повітрі. Діти і літні люди повинні уникати фізичних навантажень на відкритому повітрі.	Зменшити або перепланувати напружену діяльність на відкритому повітрі, особливо, якщо ви відчуваєте такі симптоми, як кашель і біль у горлі.

Значення індексу та відповідних концентрацій, а також наслідки їхнього впливу на здоров'я для названих забруднювальних речовин є такими:

Таблиця 1.1.1 – Категорії індексу якості повітря.

Категорії індексу якості повітря								
Категорія AQI (Діапазон)	PM ₁₀ (24год)	PM _{2.5} (24год)	NO ₂ (24год)	O ₃ (8год)	CO (8год)	SO ₂ (24год)	NH ₃ (24год)	Pb (24год)
Хороший (0-50)	0-50	0-30	0-40	0-50	0-1.0	0-40	0-200	0-0.5
Задовільний (51-100)	51-100	31-60	41-80	51-100	1.1-2.0	41-80	201-400	0.5-1.0
Помірно забруднений (101-200)	101-250	61-90	81-180	101-168	2.1-10	81-380	401-800	1.1-2.0
Високий (201-300)	251-350	91-120	181-280	169-208	10-17	381-800	801-1200	2.1-3.0
Дуже високий (301-400)	351-430	121-250	281-400	209-748	17-34	801-1600	1200-1800	3.1-3.5
Небезпечний (401-500)	430+	250+	400+	748+	34+	1600+	1800+	3.5+

Індекс якості повітря — це значення, яке використовується урядовими установами для донесення до громадськості рівня забруднення повітря у наш час. Якщо індекс збільшиться, значна частина населення зіткнеться з серйозними наслідками для здоров'я.

Індекс якості повітря зазвичай об'єднують у діапазони. Кожному діапазону присвоюється ідентифікатор, код кольору і рекомендації охорони здоров'я.

Індекс якості повітря може збільшитись за рахунок збільшення промислових чи транспортних викидів у атмосферу (наприклад, у годину пік). Застій повітря часто зумовлений антициклоном, температурною інверсією або низькою швидкістю вітру, через що забруднене повітря залишається в локальній області і призводить до високої концентрації забруднювальних речовин.

У день, коли прогнозують підвищення індексу якості повітря через

забруднення повітря твердими частинками, установа або громадська організація здоров'я може:

- попередити вразливих людей, таких як літні люди, діти і особи, які страждають респіраторними або серцево-судинними хворобами, уникнути зовнішніх навантажень;
- оголосити "день дій" задля проведення добровільних заходів зі скорочення викидів, наприклад, день відмови від особистого транспорту;
- рекомендувати використання масок, щоб уникнути проникнення дрібних частинок у легені.

Переважна більшість країн спостерігають за шістьма основними показниками такими як: діоксиду сірки (SO₂), твердих часток (PM₁₀), дрібних твердих часток (PM_{2.5}), діоксиду азоту (NO₂), оксиду вуглецю (CO) і озону (O₃).

Якість повітря в житлових та приміщеннях і офісах.

В процесі дихання людський організм виробляє вуглекислий газ, що спричиняє проблеми для приміщень в будинках з не належним рівнем вентиляції. Щоб забезпечити хорошу якість повітря, нормальний фоновий рівень CO₂ має становити близько 400 ppm (об'ємних частин на мільйон). У густонаселених пунктах в приміщеннях рівень CO₂ може швидко піднятися вище цього рівня, якщо дія вентиляції буде недостатньою. Оскільки рівень CO₂ в приміщенні піднімається понад 1000 ppm, люди, які там працюють, почнуть відчувати сонливість, головні болі або втрату концентрації. Хоча не відразу, небажані для комфортного життя рівні з низькою якістю повітря з вмістом CO₂ між 1000 ppm до 5000 ppm призведуть до суттєвої втрати працездатності, некомфортного та навіть хворобливого стану. Нормативи для навчальних закладів встановлюючи верхню межу CO₂ у 1000 ppm.

Вимоги до якості повітря у виробничих приміщеннях.

Гранично допустима концентрація шкідливої речовини у повітрі робочої зони встановлюється для речовин, що здатні чинити шкідливий вплив на організм працюючих при інгаляційному надходженні. За величиною ГДК у повітрі робочої зони шкідливі речовини поділяються на чотири класи небезпеки (ГОСТ 12.1.007-76):

- 1-й - речовини надзвичайно небезпечні, ГДК менше 0,1 мг/м³ (свинець, ртуть, озон та ін.);
- 2-й - речовини високонебезпечні, ГДК 0,1-1,0 мг/м³ (кислоти сірчана та соляна, хлор, фенол, їдкі луги та ін.);
- 3-й - речовини помірно небезпечні, ГДК 1,1-10,0 мг/м³ (вінілацетат, толуол, ксилол, спирт метиловий та ін.);
- 4-й - речовини малонебезпечні, ГДК понад 10,0 мг/м³ (аміак, бензин, ацетон, гас та ін.).

Для контролю концентрації шкідливих речовин у повітрі виробничих приміщень та робочих зон використовують наступні методи:

- експрес-метод, який ґрунтується на явищі колориметрії (зміні кольору індикаторного порошку в результаті дії відповідної шкідливої речовини) і дозволяє швидко та з достатньою точністю визначити концентрацію шкідливої речовини безпосередньо у робочій зоні. Для цього використовують газоаналізатори (УГ-2, ГХ-4, СТХ-17, ФОН-1 та ін.);
- лабораторний метод, що полягає у відборі проб повітря з робочої зони і проведенні фізико-хімічного аналізу (хроматографічного, фотоколориметричного та ін.) у лабораторних умовах. Цей метод дозволяє одержати точні результати, однак вимагає значного часу.
- метод неперервної автоматичної реєстрації вмісту в повітрі шкідливих хімічних речовин з використанням газоаналізаторів та газосигналізаторів (ФКГ-ЗМ на хлор, "Сирена-2" на аміак, "Фотон" на сірководень, стаціонарні широкого спектра: ЩИТ-2, СПА-1, СТХ-18).

Запиленість повітря можна визначити ваговим, електроіндукційним, фотометричним та іншими методами. Найчастіше поки-що використовують ваговий метод. Для цього зважують спеціальний фільтр до і після протягування через нього певного об'єму запиленого повітря, а потім вираховують вагу пилу в міліграмах на кубічний метр повітря. Останнім часом на ринку присутні аналізатори концентрації механічних часток за розміром починаючи з 0,3 мкм і вище до 10 мкм.

Періодичність контролю стану повітряного середовища визначається класом небезпеки шкідливих речовин, їх кількістю, ступенем небезпеки ураження працюючих тощо. Контроль (вимірювання) може відбуватись неперервно, періодично протягом зміни, щоденно, щомісячно і т. ін. Неперервний контроль із сигналізацією (перевищення ГДК) повинен бути забезпечений, якщо в повітря виробничих приміщень можуть потрапити шкідливі речовини з гостроспрямованим механізмом дії.

1.2 Індиксація у Європі

У Європі використовується загальна індексна система якості повітря. Три різні показники дозволяють зіставити різні часові масштаби :

1. Погодинний індекс описує якість повітря, виходячи з погодинних значень та оновлюється щогодини.
2. Щоденний індекс відповідає за загальні якості повітря попереднього дня, базується на основі щоденних значень і оновлюється раз в день.
3. Щорічний індекс демонструє індекс якості повітря протягом всього року і порівнюється з європейськими нормами якості повітря [1].

Загальний показник забруднення **Pollutant Standards Index (PSI)** складається із восьми основних забрудників, які названі вище.

Концентрації цих забруднюючих речовин в атмосферному повітрі вимірюються через мережу станцій моніторингу атмосферного повітря, розташованих навколо Сінгапуру.

Під-індекс показника розраховується для кожної забруднюючої речовини, що базуються на її концентрації в атмосферному повітрі. PSI визначається забруднюючими речовинами з найбільшою концентрацією.

PSI визначається як число за шкалою від 0 до 500. Індексні показники дозволяють громадськості бачити рівень забруднення повітря в конкретному місці. Наступна PSI таблиця побудована за індексом значення показника забруднення і його опису за даними Національного агентства з навколишнього середовища (NEA) [2].

Таблиця 1.2 - Описові характеристики загального показника забруднення повітря **Pollutant Standards Index (PSI)** [2].

PSI	Описові характеристики	Загальні наслідки для здоров'я
0-50	Добрий	Немає
51-100	Задовільний	Немає або незначні
101-200	Шкідливий	Кожна людина може почати відчувати вплив забруднення на її здоров'я
201-300	Дуже шкідливий	Все населення, відчуватиме вплив забруднення на здоров'я.
301+	Небезпечний	Можуть виникнути більш серйозні наслідки для здоров'я

1.3 Моніторинг в Україні

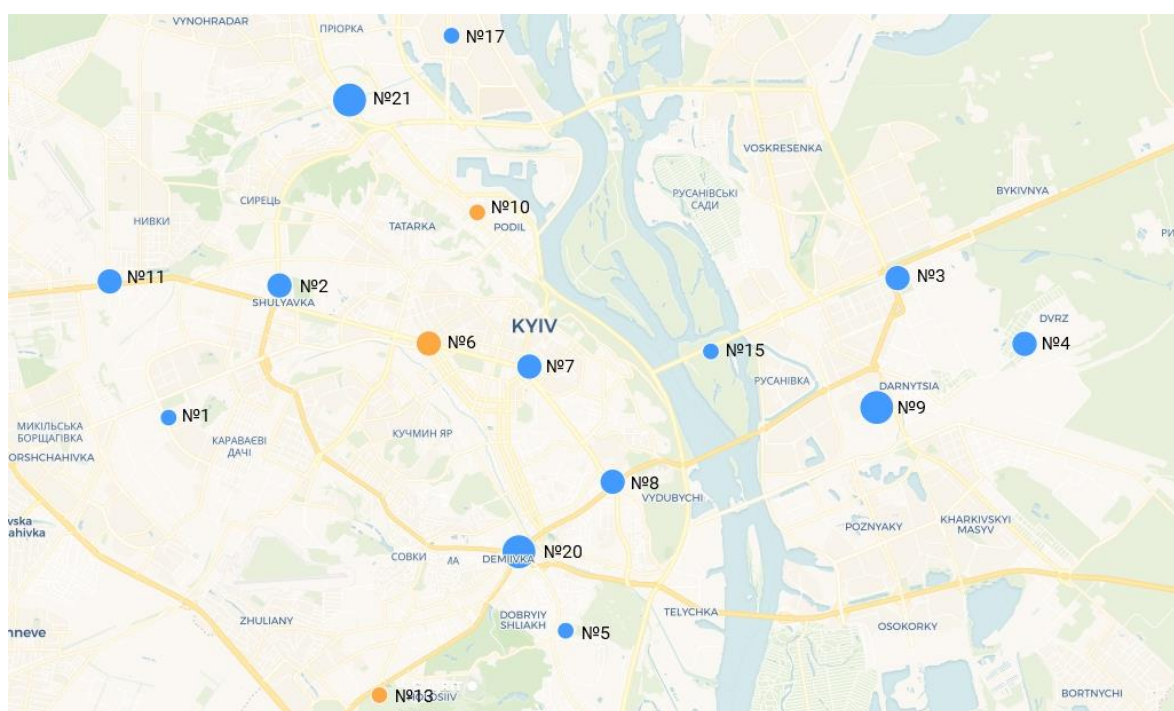
Спостереження за вмістом забруднюючих речовин у повітрі міст України є повноваженням Українського гідрометеорологічного центру, який є підрозділом Державної служби з надзвичайних ситуацій у складі Міністерства внутрішніх справ.

Основним методом визначення концентрацій забрудників є відбір проб повітря на стаціонарних постах спостереження. Кількість постів визначається розміром міста та особливостями структури промисловості. Вона може коливатись від одного поста для міст з населенням, меншим за 50 тисяч мешканців, до двадцяти постів для міст-мільйонників. У 2016 році в країні було

129 постів у 39 містах. Найбільше, 16 постів— у Києві, 10 постів — у Харкові, 8 — в Одесі, 6 — у Дніпрі. Великі промислові центри— Запоріжжя, Кривий Ріг, Маріуполь — мали по п'ять постів спостереження, у той час як для більшості обласних центрів їх кількість не перевищувала чотирьох.

Відбір проб проводиться на визначених часових проміжках(строках) відповідно до однієї з чотирьох програм спостережень: повної, неповної, скороченої чи добової. Повна програма передбачає чотири виміри впродовж доби: о 01:00, 07:00, 13:00, 19:00 за місцевим часом; неповна — три: о 07:00, 13:00, 19:00; скорочена — два: о 07:00, 13:00; добова програма передбачає неперервні спостереження.

Спостереження за концентраціями пилу, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, діоксиду азоту, свинцю та його неорганічних сполук, бензопірену, формальдегіду та радіоактивних речовин є обов'язковими. Інші речовини можуть бути включені до програми спостережень за рішенням органів місцевого самоврядування відповідно до специфіки екологічної ситуації.



Мал.1.3 - Мережа моніторингу якості атмосферного повітря Центральної геофізичної обсерваторії (блакитним позначено пости, на яких ведеться спостереження чотири рази на добу, жовтим - двічі) [3].

Недоліки української системи на поточний момент наступні:

Організація та методологія моніторингу якості атмосферного повітря в Україні не відповідає стандартам Європейського Союзу.

- Вимоги щодо кількості постів спостереження у населених пунктах України перевищують аналогічні нормативи ЄС. В Україні для міст з населенням близько 3 мільйонів осіб повинні мати від десяти до двадцяти постів, у той час як в ЄС для міст таких же розмірів встановлюють лише 4 пости.

- В Україні програми спостережень можуть відрізнятися на різних постах, у той час, як в ЄС діє принцип вимірювань “усього на всіх постах”

Однією з найбільших вад української системи спостережень, на мою думку, є визначені коридори часу вимірювань. Однак пік забруднення може просто не увійти в ці рамки, а це в свою чергу вплине на середній результат визначення забруднення. В ЄС вимірювання проходять постійно і у деяких випадках є додаткові вимірювання.

Також проблемою є те, що Україні відсутня нормативно-правова база щодо інформування населення про якість атмосферного повітря. Дані моніторингу не належать до відкритих даних. Доступ до них регулюються в рамках загального законодавства про доступ до публічної інформації. У Києві, наприклад, деякі відомості про концентрації забруднюючих речовин публікує Центральна геофізична обсерваторія. Однак, вони не є повними і зберігаються на сайті лише протягом кількох днів. У багатьох інших містах навіть таке інформування відсутнє [3].

1.4 Висновки

У даному розділі розглянуто нормативні підходи до індексації якості повітря та методи її вона визначається. Викладено, як проводиться моніторинг в Україні та в Європі, які існують основні відмінності та недоліки української системи .

Відмінності від Європейської системи у тому, що в Україні на населені пункти з близько 3 мільйонів осіб для вимірювань використовують від десяти

постів, які проводять збір зразків у визначені коридори часу, у той час у Європі при таких умовах використовують лише 4 пости, а моніторинг проводиться безперервно, що дозволяє отримати більш точні середні значення показників забруднення.

Також значні проблеми української системи в тому, що містах вимірюють неоднакові показники забруднень, на станціях використовують різні програми для аналізу, що приводить до не надто погоджених результатів.

2 АНАЛІЗ ЗАБРУДНИКІВ ТА ПРИНЦИПИ ЇХ ВИМІРЮВАНЬ

Відомо шість основних забрудників атмосферного повітря, за якими слідкують переважна більшість країн: діоксид сірки (SO_2), твердих часток (PM_{10}), дрібних твердих часток ($\text{PM}_{2.5}$), діоксид азоту (NO_2), оксид вуглецю (CO) і озону (O_3). Формальдегід - ще один забрудник, який не увійшов в основний список, але є актуальним.

З останніх подій в Україні можна сказати, що одним з найбільших забрудників повітря є CO , який виділяється при горінні органіки. Також, на мою думку, великою проблемою є випаровування формальдегідів, які використовують у різних видах матеріалів. Тож розглянемо детальніше ці гази.

2.2 Оксид вуглецю (CO).

Оксид вуглецю (CO) - безбарвний, недратівливий, не має запаху та смаку газ. Він виробляється при неповному згорянні вуглецевих палив, таких як деревина, бензин, вугілля, природний газ та гас. Його молекулярна маса становить 28,01 г / моль, температура плавлення $-205,1\text{ }^\circ\text{C}$, температура кипіння (при 760 мм рт. ст.) $-191,5\text{ }^\circ\text{C}$ ($-312,7\text{ }^\circ\text{F}$), густина 1,250 кг / м^3 при $0\text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 1 атм і 1,145 кг / м^3 при $25\text{ }^\circ\text{C}$ та 1 атм, і відносна густина (повітря = 1) 0,967 (1,2). Його розчинність у воді на 1 атм становить 3,54 мл / 100 мл при $0\text{ }^\circ\text{C}$, 2,14 мл / 100 мл при температурі $25\text{ }^\circ\text{C}$ і 1,83 мл / 100 мл при температурі $37\text{ }^\circ\text{C}$.

Молекулярна маса оксиду вуглецю схожа на масу повітря (28.01 проти приблизно 29). Він вільно змішується з повітрям у будь-якій пропорції, горючий, може служити джерелом палива і утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям. Він енергійно реагує з киснем, ацетиленом, хлором, фтором та оксидом азоту. Окис вуглецю людина не виявляє візуально, за смаком чи запахом. Він лише слабо розчинний у воді, сироватці крові та плазма; в організмі людини він реагує з гемоглобіном, утворюючи карбоксигемоглобін (COHb). Зв'язок впливу окису вуглецю на концентрацію COHb в крові можна змоделювати за допомогою

рівняння Коберна-Форстера-Кейна, що забезпечує хороше наближення до рівня СОН_б при стабільному рівні вдихуваного екзогенного чадного газу.

Коефіцієнти перетворення при тиску 760 мм рт.ст. і температурі 20 °С: 1ppm = 1,165 мг / м³ і 1 мг / м³ = 0,858 проміле; у 25 °С, 1 м.д. = 1,145 мг / м³ і 1 мг / м³ = 0,873 проміле.

Вплив на здоров'я.

Для більш точного визначення впливу на здоров'я пошук літератури був проведений в електронній базі даних медичних і біологічних публікацій PubMed та Web of Science, ключовими словами для пошуку були “оксид вуглецю” та “здоров'я”.

Спеціальний пошук поведінкових та неврологічних ефектів (розладів) використовував PubMed за наступними ключовими фразами: ("оксид вуглецю" АБО СО) та ("людська поведінка " АБО "нервова система" АБО ЦНС АБО сенсорна система АБО "людська працездатність" АБО зір АБО слух АБО слуховий) тих, хто не палить і не є пасивним курцем. Подібні пошукові твердження використовувались для фізіологічних та механістичних статей. У цих пошуках було знайдено 952 статті, а з них -52 були визнані релевантними до предмету вивчення та використані в огляді. Посилання у кожній із відповідних статей були знайдені для того, щоб знайти будь-які інші статті, які, можливо, пропустили під час автоматичного пошуку.

Аналогічну стратегію було застосовано для огляду наслідків на здоров'я при хронічному впливі. З цих статей — сто одна було визнано релевантним та були використані.

Методи визначення.

Колориметричний метод

Найбільш простим і в той же час досить чутливим є колориметричний метод. Суть методу ґрунтується на здатності розчинів певних речовин забарвлюватися при впливі на них хімічних реактивів. При цьому ступінь забарвлення розчину збільшується пропорційно кількості речовини, що знаходиться в розчині. Для того, щоб за забарвленням розчину визначити кількість досліджуваної речовини,

порівнюють інтенсивність цієї забарвлення з інтенсивністю забарвлення розчину, що містить відому концентрацію того ж речовини.

Фотоколориметричний метод

Так як точність методу до певної міри залежить від лаборанта, його здатності правильно порівнювати інтенсивності забарвлення, то останнім часом стали застосовувати фотоколориметричний метод. Відмінність його від описаного вище полягає в тому, що через пробірки з пробамі пропускають світло, інтенсивність якого реєструється за допомогою фотоелемента. За величиною фотоструму судять про концентрацію досліджуваної речовини. Цей метод, безумовно, точніший і швидший, але теж має недоліки. Наприклад, при дуже малих концентраціях, а отже, і слабкому забарвленні, фотоелемент слабо реагує на зміну забарвлення.

Визначення окису вуглецю в газоаналізаторах

Вміст у газах окису вуглецю в лабораторних умовах визначають за допомогою потужності газоаналізаторів. Велике застосування для аналізу газу з малим вмістом СО знаходить прилад марки ТГ-5. Цей газоаналізатор складається з двох частин: очисної і аналітичної.

В очисній частині газ очищається від сторонніх домішок. В аналітичній частині в спеціальній колонії окис вуглецю спалюється на розпеченій платиновій спіралі. Далі визначають хімічним шляхом кількість утвореного при згорянні СО вуглекислого газу і за цієї кількості розраховують вміст у вихідній пробі окису вуглецю. Чутливість газоаналізатора - від 0,0014 мг до 0,0028 мг. Робота з приладом вимагає певного досвіду і кваліфікації лаборанта. У випадку наявності в газовій суміші великих концентрацій оксиду вуглецю, що становлять відсотки за обсягом, передбачений прилад моделі ОТИ-2. Аналіз за допомогою цього приладу дозволяє, крім окису вуглецю, визначити роздільні концентрації в суміші газів кисню, азоту, метану, сумарні концентрації вуглекислого газу, сірчистого газу, сірководню та інших кислотних газів, а також неграничних вуглеводнів, водню в сумі з граничними вуглеводнями. Принцип дії приладу заснований на

вибірковому поглинанні рідкими речовинами окремих компонентів газів. Певний обсяг газу прокачується через рідкий поглинач.

2.3 Формальдегід

Формальдегід (молекулярна формула (2.1); CAS номер 50-00-0) - це безбарвний газ, легкозаймистий і високореакційний при кімнатній температурі. Формальдегід може також можна отримати комерційно у вигляді водного розчину 30-50% (по вазі) як формалін.



У навколишньому повітрі формальдегід швидко фотоокислюється у вуглекислому газі. Це також дуже швидко реагує з гідроксильними радикалами, отримуючи мурашину кислоту. Період напівжиття, оцінений для цих реакцій, становить приблизно одну годину, залежно від умов навколишнього середовища.

Основні хімічні та фізичні властивості (чистої речовини) такі : молекулярна маса 30,03 г / моль; відносна густина пари 1,03–1,07 (повітря = 1); температура плавлення -92°C ; і температура кипіння $-19,1^{\circ}\text{C}$. Формальдегід розчинний у вода (близько 400 г / л при 20°C), етанол і хлороформ і змішується з ацетоном, бензолом та діетиловим ефіром. Коефіцієнт розподілу октанол / вода ($\log K_{ow}$) становить 0,35, тиск пари $5,19 \times 10^5$ Па при температурі 25°C та постійній законі Генрі становить $3,41 \times 10^{-2}$ Па.м³/ моль при 25°C .

Формальдегід всюди зустрічається в навколишньому середовищі, оскільки він утворюється насамперед численними природними джерелами та антропогенною діяльністю. У навколишнє середовище він виділяється шляхом спалювання біомаси (лісові та кущові пожежі) або розкладання і, наприклад, через вулкани. Антропогенні джерела включають прямі, наприклад, виробничі викиди на місці та спалювання палива трафік. Інші процеси горіння (електростанції, спалювання тощо) також є джерелами викидів формальдегіду в атмосферу. Однак формальдегід також широко виробляється промислово у всьому світі для використання у виробництві смол, як дезінфікувальний засіб та фіксатор, або як

консервант для споживачів продукції.

Усі ці техногенні продукти та використання є основними непрямыми джерелами формальдегіду, зокрема в приміщенні. Нарешті, слід зазначити, що вторинне утворення формальдегіду відбувається в повітрі шляхом окислення летючої органіки сполуки (ЛОС) та реакції між озоном (переважно ззовні) та алкени (особливо терпени) широко описані.

Загальні методи вимірювання концентрації формальдегіду включають обидва інтегровані активні та пасивні методи. Формальдегід, як правило, потрапляє на асорбент, просочений 2,4-динітрофенілгідразином (2,4-ДНФГ). Аналіз проводили в лабораторії високоефективною рідинною хроматографією та ультрафіолетове виявлення при 350 нм. Межі виявлення та кількісної оцінки навколо 1 мкг / м³ можна досягти. Використовувати озоновий скрубер рекомендується для видалення останнього з потоку зразка, щоб запобігти втручанню під час аналізу. Показано нещодавні порівняння методик вимірювання формальдегіду що при наявності низької відносної вологості методи на основі 2,4-ДНПГ могли занизити концентрацію.

Коефіцієнти перетворення:

При 760 мм рт.ст. і 20 °С, 1 м.д. = 1,224 мг / м³ і 1 мг / м³ = 0,801 проміле; у 25 °С, 1 м.д. = 1,222 мг / м³ і 1 мг / м³ = 0,814 проміле.

Вплив на здоров'я:

Література для вивчення випадків онкології була позначена в PubMed пошуковими термінами, які включали "формальдегід та ДНК-білкові зв'язки", «формальдегід ТА генотоксичність ТА кров ТА лімфоцити», «огляд лімфатичної ТА тканини носа ТА огляд», "мікроядерний ТА тест ТА огляд", "Формальдегід ТА рак ТА метааналіз", "формальдегід ТА рак" ТА люди ", " одиничний ризик ТА формальдегід ", " Епштейн-Барр ТА рак носоглотки ТА огляд ", " Хауптман М ТА карцинома носоглотки ", "Гауптман М ТА виготовлення виробів із срібла", " виготовлення виробів із срібла Та рак носоглотки", " виготовлення виробів із

срібла і рак ", " кислота та ТА огляд ", " нікель ТА рак носоглотки ", " самотні ризики ТА рак ТА Огляд» та «роботи Чжан Лі ТА формальдегід». Посилання також були отримані від Міжнародної агенції з вивчення раку (IARC), альманаху Bosetti et al. та Європейського комітету. Приблизно 200 статей було визнано актуальними та прочитані. З них більше, ніж 120 були детально вивчені; актуальність цих статей обговорена командою вчених Wolkoff & Nielsen, що вивчали вплив професійної діяльності на здоров'я. Однак статті сюди були включені лише у тому випадку, якщо вони були визнані за диференціацією Всесвітньої організації охорони здоров'я як такі, що пов'язані з випадками безпосереднього впливу в умовах закритого повітря, тобто в приміщенні.

Для визначення впливу на неонкологічні випадки було відібрано публікації періоду з особливим акцентом на вплив на людину за період 1997–2009 років. За винятком особливих випадків, були виключені дослідження тварин та *in vitro* за наявністю величезної кількості людських даних.

Формальдегід шукали в поєднанні з такими термінами: алергія, астма (тики), дихальні шляхи (подроздрнення), бронхоспазм, діти, очі, запалення, будинок, імуноглобулін, (назальне) подразнення, дитячі садки, вплив на легені, легені функція, офіси, парфумовані аромати, школи, сенсорне подразнення, синдром хворого будинку, сенсibiliзація та стимуляція трійчастого нерва.

Екзема не включалася, за винятком випадків, коли їх було знайдено у вищезазначених пошуках. На додаток до баз даних, таких як PubMed та Google Scholar, були розглянуто останні загальні огляди, включаючи Гілберта та міжнародні звіти.

З 170 ідентифікованих робіт (і перелічених Wolkoff & Nielsen) 90 відносилися до впливу на людину та епідеміологічних випадків (65 досліджень), діти (11 досліджень), досліджень на тваринах (8 досліджень), дослідження клітин (3 дослідження) та пилу (4 дослідження). [4]

Методи визначення. Якісне визначення.

• Реакція з хромотроповою кислотою (метод Егріва).

При нагріванні розведеного водного розчину формальдегіду з хромотроповою кислотою (1,8-дигідроксинафталін-3,6-дисульфокислотою) за наявності міцної сірчаної кислоти розчин набуває фіолетового забарвлення, за інтенсивністю якою судять про кількість формальдегіду.

• **Метод Деніже.** В основі методу лежить кольорова реакція між формальдегідом і фуксинбісульфітним реактивом Шиффа. Згодом рецептуру приготування реактиву були внесені зміни, у зв'язку з чим він отримав назву «модифікованого реагенту Шиффа».

• **Поляррографічний метод.** Це один із найнадійніших і найточніших способів визначення малих кількостей формальдегіду у водних і водно-органічних середовищах. Він полягає в тому, що деякі речовини здатні відновлюватися на крапельно-му ртутному електроді, причому відновлення відбувається при строго індивідуальній напрузі, яка називається потенціалом напівхвилі. У середині 30-х років XX століття було відкрито, що формальдегід поляррографічно активний, потенціал його напівхвилі (при використанні каломельного електрода порівняння) дорівнює -1,63 В. За висотою хвилі на поляррограмі судять про вміст формальдегіду в розчині. Етаналь і вищі альдегіди відновлюються при більш високих потенціалах, метанол, етанол та інші спирти визначенню не заважають.

Як фон застосовують розчини нейтральних солей KCl або лугів LiOH, KOH, NaOH. Так як луги навіть при помірній температурі викликають хімічні перетворення формальдегіду, рекомендується знімати поляррограму відразу ж після змішування проби з фоном. [6]

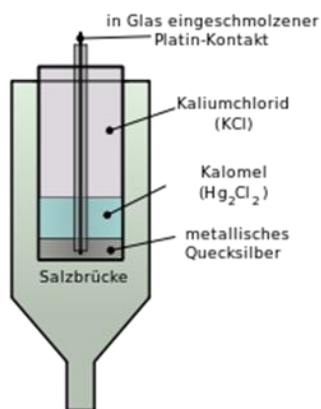


Рис. 2.2 - Структура каломельного электрода [5].

2.4 Діоксид сірки (SO₂).

Діоксид сірки - неорганічна бінарна сполука складу SO₂. За звичайних умов являє собою безбарвний газ з різким задушливим запахом. Проявляє доволі сильні відновні властивості. Використовується у синтезі сульфатної кислоти, а також як відбілювач і для обробки приміщень від шкідників.

Діоксид сірки при звичайних умовах являє собою безбарвний газ, з різким задушливим запахом. Він важчий від повітря більше ніж у два рази. При охолодженні до -10 °C діоксид сірки скраплюється в безбарвну прозору рідину, а під тиском 2,5 атм скраплюється при звичайній температурі. Тому його можна зберігати і транспортувати в сталевих балонах у рідкому стані. Випаровування рідкого SO₂ супроводжується значним охолодженням (до -50 °C).

У воді діоксид сірки розчиняється дуже добре: в одному об'ємі води розчиняється до 40 об'ємів SO₂. Розчинність у воді: 22,97 г/100 мл (0°C), 11,58 г/100 мл (20°C), 9,4 г/100 мл (25°C) [6].

Методи визначення SO₂

Флуоресцентний метод визначення

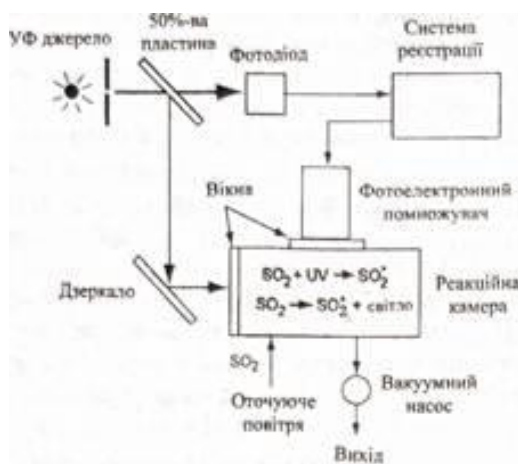
Метод ґрунтується на поглинанні молекулою SO₂ ультрафіолетового (УФ) випромінювання та збудженні цієї молекули на одній частоті ν_1 з подальшим випромінюванням флуоресценції на другій частоті ν_2 :



Ультрафіолетове випромінювання направляється в реакційну камеру, яка містить повітря з SCb (Мал. 2.3.1).

Діоксид сірки має інтенсивне поглинання в ультрафіолетовій (200-240 нм) області спектра, тоді як спектр випромінювання флуоресценції SO₂ знаходиться в області 300-400 нм. Молекули SO₂ збуджуються ультрафіолетовим випромінюванням та швидко переходять в основний стан, випромінюючи фотони інфрачервоного діапазону. Фотопомножувач перетворює світловий сигнал на електричний, величина якого пропорційна концентрації SO₂ [Artiola, 2004].

Прилад для вимірювання спектра флуоресценції називають спектрофлуориметром. Він складається з джерела збудження флуоресценції (газорозрядної лампи), ультрафіолетового (214 нм) фільтра, реакційної камери та системи реєстрації. Флуоресцентне випромінювання (350 нм) надходить у фото помножувач, сигнал з виходу якого пропорційний концентрації SO₂. Опорний детектор використовується для корекції коливань інтенсивності лампи.



Мал. 2.3.1 - Флуоресцентний метод визначення SO_2 [7]

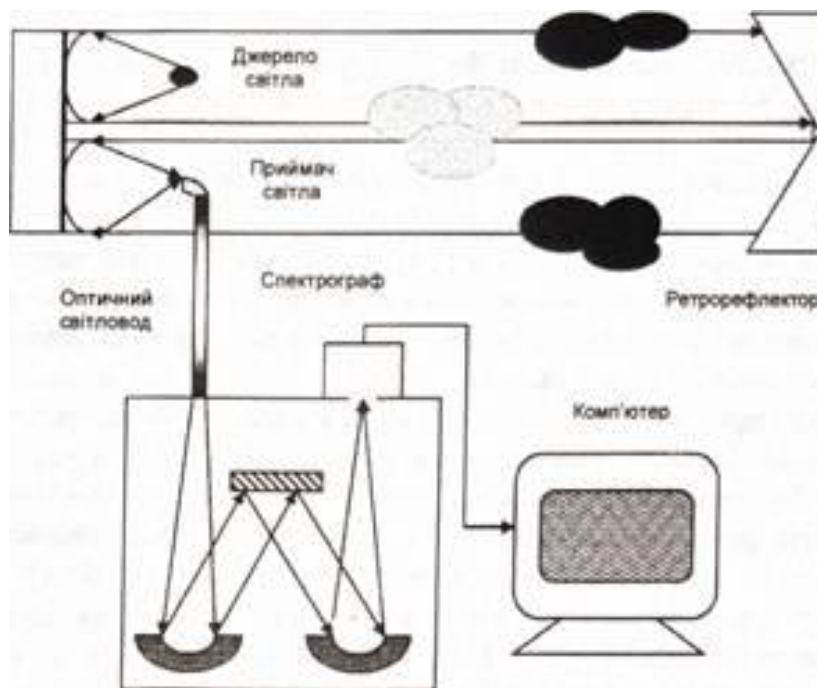
Флуоресценція є активним процесом, спектрофлуориметри характеризуються високою чутливістю.

Диференційна оптична спектроскопія поглинання.

Основна ідея методу полягає у порівнянні концентрації забруднюючої речовини з поглинанням оптичного випромінювання цією речовиною згідно з законом Бера-Ламберта. Проте слід зазначити, що застосування цього закону ускладнюється через можливий вплив розсіювання атмосферних молекул та аерозолів. Отже всі ці компоненти вносять вклад у загальне поглинання атмосфери. Ці труднощі можна подолати завдяки диференційній оптичній спектроскопії поглинання (Differential Optical Absorption Spectroscopy, DOAS) [Platt, 1994].

Типовий диференційний спектрометр поглинання складається з джерела світла (ксенонова лампа), випромінювання якої проходить через телескоп, який виконує функції коліматора; ретрорефлектора, який відбиває оптичне випромінювання у зворотному напрямку; кварцового світловоду для передачі випромінювання з телескопа у монохроматор; спектрографа, що містить монохроматор з дифракційною решіткою та системи реєстрації (Мал. 2.3.2.). Оптичне випромінювання проходить через атмосферу (оптичний шлях може досягати 0,5-1,5 км), що аналізується.

Диференційний спектрометр поглинання вимірює поглинання на двох довжинах хвиль – випромінювання однієї (λ_0) довжини хвилі збігається зі смугою поглинання об'єкта (газу чи забруднення), тоді як випромінювання другої (λ_1) довжини хвилі збігається з основою смуги поглинання. Поглинання об'єкта порівнюється з поглинанням забруднюючої речовини з відомою концентрацією. Такі дані знаходяться у банку даних спектрометра.



Мал. 2.3.2 - Схема типового диференційного спектрометра поглинання[7]

За допомогою диференційного спектрометра поглинання можна вимірювати компоненти смогу у повітрі міст (такі як NO_x , SO_x , O_3 , формальдегід), забруднюючі речовини у повітрі індустріальних зон, аеропортів та автострад, контролювати концентрації викидів із труб промислових підприємств, здійснювати моніторинг якості повітря тропосфери та стратосфери. Ця техніка може бути застосована для одержання томографічних зображень просторового розподілу забруднень в атмосфері. З цією метою застосовують дві вежі з диференційними спектрометрами поглинання та кількома (від 4 до 20) ретрорефлекторами. Така система дає можливість побудувати дво- та тривимірні

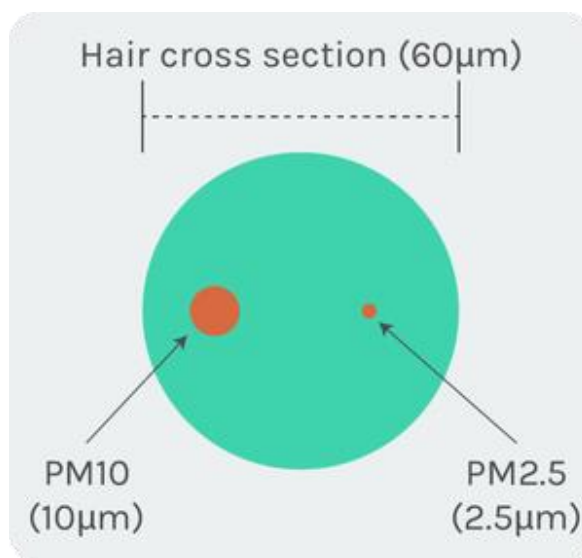
зображення (томограми) слідових концентрацій забруднюючих речовин у просторі [Poehler, 2005].

Диференційний спектрометр поглинання здатний вимірювати слідові кількості різних видів газів одночасно; характеризується високою чутливістю та низьким (1 мкг/м³) порогом детектування. До недоліків належать залежність результатів вимірювань від погодних умов та висока вартість обладнання [7].

2.5 Тверді частки (PM10) та дрібні тверді частки (PM2.5)

Термін «зважені частки» відноситься до твердих або рідким речовин, диспергованих в газовій фазі. Для їх позначення використовують дві аббревіатури ЗЧ або РМ – похідна форма від англійського словосполучення «Particulate Matter». За традицією, що склалася в метеорології, фізиці атмосфери, хімічній екології до ЗЧ відносять, в основному, тверді частинки. Деякі частинки виділяються безпосередньо з певного джерела, а інші утворюються внаслідок складних хімічних реакцій в атмосфері.

Для позначення окремих видів ЗЧ, залежно від розмірів, форми і характерних особливостей, використовують такі терміни, як пил, аерозоль, сажа, дим.



Мал 2.4.1 - Розміри PM10 та PM2.5 [8]

Частки грубого пилу (PM10) діаметром від 2,5 до 10 мікрометрів. Джерело: цвіль, спори, пилок, дим, бруд і пил із заводів та сільського господарства.

Тонкі частки (PM2.5) діаметром 2,5 мікрометра або менші, і їх можна побачити лише електронним мікроскопом. Джерело: процеси горіння, продукуються транспортними засобами, електростанціями. Спалювання деревини (житлові котли тощо), лісові пожежі, спалювання сільськогосподарських відходів та деякі промислові процеси, що продукують токсичні органічні сполуки та важкі метали є також джерелом даного типу часток [9].

2.6 Діоксид азоту (NO₂)

Існує сім оксидів азоту, які можуть бути виявлені в атмосферному повітрі. Азотний оксид (N₂O) - парниковий газ, який має значні антропогенні джерела, що сприяють його світовій кількості (~ 0,3 проміле). Однак оксид азоту (NO) та двоокис азоту (NO₂) - це два основних оксиди азоту, пов'язані з джерела горіння. Концентрація навколишнього середовища цих двох газів сильно різниться залежно від місцевих джерел і раковин, але може перевищувати загальну концентрацію

(NO + NO₂) 500 мкг / м³ у щільних міських районах. Азотна кислота (HONO) – поширене забруднювач у зовнішніх та внутрішніх умовах, що утворюється при реакції діоксиду азоту з водою.

Оксид азоту окислюється на повітрі з утворенням діоксиду азоту. У рідкому вигляді діоксид азоту безбарвний до коричневого кольору. При цьому температура кипіння діоксиду азоту становить 21,15°C, в нормальних умовах навколишнього середовища його низький парціальний тиск в атмосфері (908 мм рт.ст. при 25°C) запобігає конденсації, щоб він існував у повітрі в газоподібна форма. У такому вигляді діоксид азоту є летючим, червонувато-коричневим кольором і важчий за повітря, і має характерний різкий запах, відчутний від а концентрація 188 мкг / м³

(0,1 проміле). Це сильний окислювач, агресивний і погано розчинний у воді.

Його молекулярна маса становить 46,01 г / моль, температура плавлення $-11,2^{\circ}\text{C}$,

температура кипіння $21,15^{\circ}\text{C}$ і щільність 1,59 (повітря = 1). Він реагує з водою і розчинний у сірчаній та азотній кислотах.

Коефіцієнти перетворення

При 760 мм рт.ст. і 20°C , $1 \text{ м.д.} = 1,914 \text{ мг} / \text{м}^3$ і $1 \text{ мг} / \text{м}^3 = 0,523 \text{ проміле}$;
у 25°C , $1 \text{ м.д.} = 1,892 \text{ мг} / \text{м}^3$ і $1 \text{ мг} / \text{м}^3 = 0,531 \text{ проміле}$.

Вплив на здоров'я

Багато зовнішніх досліджень вивчило ефект на здоров'я діоксиду азота при впливу на відкритому повітрі. І хоча є сумніви, що деякі зв'язки визнані як ті, що мають вплив на здоров'я та діоксид азоту на відкритому повітрі, можуть бути розширені завдяки впливу сумісних забруднювачів. Розширене дослідження визнало, що здоров'я респіраторної системи асоціюється з впливом діоксиду азота незалежно від інших впливів.

Азотна кислота на відкритому повітрі все більше впливає на великий список розладів. Наприклад, останнім часом було звітовано про зростаючі ризики отиту (108), екземи (109), інфекції вуха - горла - носа, сенсibiliзація до алергенів у їжі у дітей (110) наряду з збільшенням згортаємості крові після періодів атмосферного впливу у дорослих (111). Є також зацікавлення у ролі атмосферного забруднення на репродуктивну систему [4].

Методи визначення.

Хемілюмінесцентний метод.

В основі методу лежить реакція між закисом азоту NO та озоном O_3 , внаслідок якої утворюється збуджена форма двоокису азоту NO_2 . Збуджений двоокис азоту переходить в основний стан із випромінюванням світла. В основному, спектр випромінювання хемілюмінесценції займає область близько 1200 нм. У хемілюмінесцентному аналізаторі повітря, що подається в аналізатор, ділиться на два потоки (Мал. 2.5.1). В одному потоці NO_2 перетворюється у NO

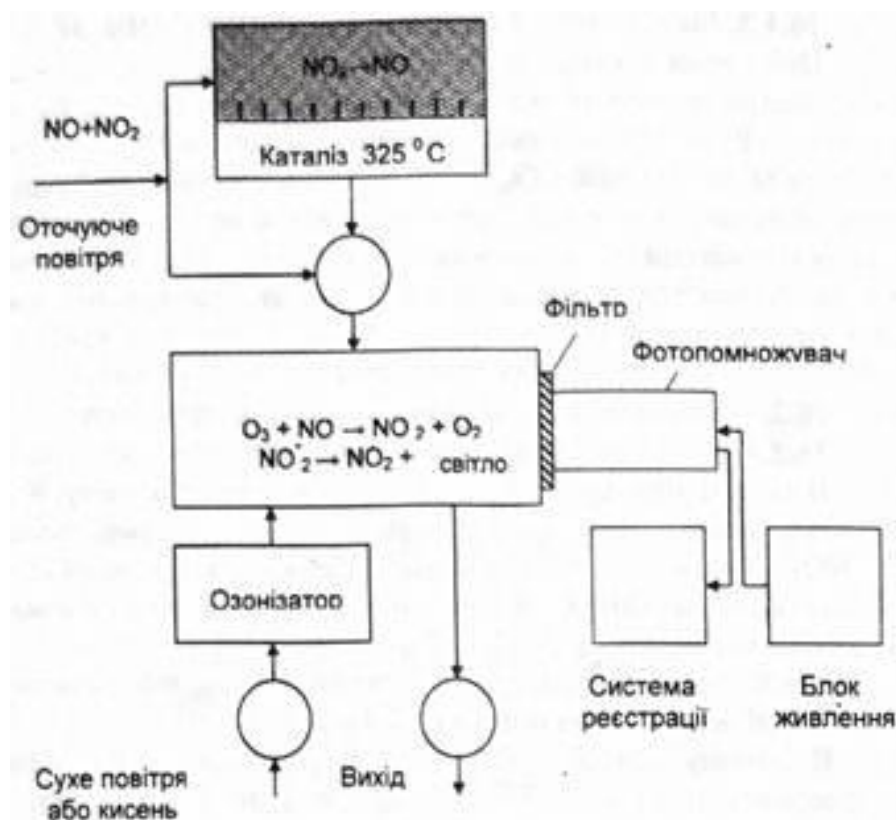
завдяки молібденовому (Mo) каталізатору, нагрітому до 325 °C. Далі NO реагує з озоном (який утворюється штучно завдяки озонатору) у камері низького тиску, що призводить до утворення NO_2 молекул.

Частина з цих молекул знаходяться у збудженому стані (NO_2^*) та беруть участь у випромінюванні світла під час переходу молекул в основний стан. Це світло реєструється та перетворюється на електричний сигнал, пропорційний інтенсивності світла.

У другому потоці NO обходить каталізатор та реагує з озоном, випромінюючи світло. Реальна концентрація NO_2 підраховується як різниця між даними конвертованого та неконвертованого NO_2 .

Чутливість вимірювання NO_2 хемілюмінесцентним аналізатором (Model 42 Analyzer) становить $5 \cdot 10^{-10} \text{ NO}_2$.

Перевагами методу є висока чутливість при низьких (5-25 мбар) тисках у реакційній камері; низька (близько 1 мкг/м³) границя детектування, можливість вимірювань у реальному часі.



Мал. 2.5.1 - Хемілюмінесцентний метод визначення NO_2 [10].

До недоліків належать можливий вплив інших азотних сполук; висока вартість; ненадійність генератора озону. Крім того, метод хемілюмінесценції може давати завищені оцінки NO₂, оскільки концентрації NO і NO₂ здатні змінюватися швидше, ніж тривалість процесу вимірювання [10].

2.7 Озон.

Озон, що складається з триатомних молекул O₃ - алотропна модифікація кисню. При нормальних умовах це блакитний отруйний газ. Запах - різкий специфічний. При зріджуванні перетворюється в рідину кольору індиго. У твердому вигляді являє собою темно-сині, сірі, практично чорні кристали.

Озон утворюється в багатьох процесах, що супроводжуються виділенням атомарного кисню, наприклад при розкладанні перекисів, окисленні фосфору і т. п.

У промисловості його отримують з повітря або кисню в озонаторах дією електричного розряду. Зріджується O₃ легше, ніж O₂, і тому їх можна легко поділити. Озон для озонотерапії в медицині отримують тільки з чистого кисню. Утворюється озон при опроміненні повітря жорстким ультрафіолетовим випромінюванням. Той же процес протікає у верхніх шарах атмосфери, де під дією сонячного випромінювання утворюється і підтримується озоновий шар.

У лабораторії озон можна отримати взаємодією охолодженої концентрованої сірчаної кислоти з пероксидом барію:



Токсичність озону.

Висока окислююча здатність озону і утворення в багатьох реакціях з його участю вільних радикалів кисню визначають його високу токсичність. Вплив озону на організм є загальний токсичними, дратівливим, канцерогенну і мутагенну, а також може призводити до передчасної смерті.

Найбільш небезпечний вплив високих концентрацій озону в повітрі - на органи дихання прямим подразненням. Озон в деяких країнах віднесений до першого, найвищого класу небезпеки шкідливих речовин. Нормативи по озону:

- максимальна разова гранично допустима концентрація (ГДК м.р.) в атмосферному повітрі населених місць 0,16 мг / м³;
- середньодобова гранично допустима концентрація (ГДК с.с.) в атмосферному повітрі населених місць 0,03 мг / м³ ;
- гранично допустима концентрація (ГДК) в повітрі робочої зони 0,1 мг / м³.
- мінімальна смертельна концентрація (LC50) - 4,8 ppm. При цьому, поріг людського нюху наближено дорівнює 0,01 мг / м³.

Озон ефективно вбиває цвіль і бактерії.

Озон в атмосфері

Атмосферний (стратосферний) озон є продуктом впливу сонячного випромінювання на атмосферне (O₂) кисень. Однак тропосферний озон є забруднювачем, який може загрожувати здоров'ю людей і тварин, а також пошкоджує рослини. Вважається, що блискавки Кататумбо є найбільшим генератором тропосферного озону на Землі [11].



Графік. 2.6.1 - Розподіл озону по висоті [11].

Методи виявлення

До основних методів вимірювання атмосферного озону належать озонові зонди, спектрофотометри Добсона та Брюера, лідари та супутники, пасивні системи моніторингу озону.

Озоновий зонд.

Озоновий зонд — це прилад, що встановлюється на повітряній кулі з газом, яка підіймається на висоту до 35 км. Він містить озоновий сенсор, джерело живлення, газову помпу та радіопередавач. Під час польоту кулі повітря з озоном пропускається за допомогою помпи через розчин, окислення якого озоном призводить до появи електричного струму, який реєструється. Величина цього струму пропорційна потоку озону і, таким чином, його концентрації.

Принцип дії озонового зонда Брюера-Маста полягає в реалізації реакції озону з йодидом калію KI , наслідком якої утворюється вільний йод [12]:



Утворення йоду порушує стан електричної рівноваги в розчині, що викликає потік електронів. Кількість озону P_m (парціальний тиск озону в нанобарах) пов'язано з величиною електричного струму I співвідношенням:

$$P_m = KIT_m \quad (2.6)$$

де K — константа, нбар/мкА К; T_m — температура помпи, К; I — величина електричного струму, мкА.

До основних типів озонових зондів можна також належать озоновий зонд ЕКК, що ґрунтується на використанні електрохімічної концентраційної камери, та вуглецево-йодний зонд, який відрізняється тим, що платинова сітка використовується як катод, а активований вуглець — як анод [Посудін, 2003].

Спектрофотометри Добсона та Брюера

Одиниці Добсона використовуються для вимірювання “товщини” озонового шару. Якщо уявити, що всі молекули озону, які присутні в стратосфері, можна зібрати на поверхні (при нормальних тиску та температурі), то товщина цього шару становитиме 3 мм. Ця кількість озону відповідає 300 *DU* (одиницям Добсона).

Спектрофотометр Добсона використовують для оцінювання озонового шару на основі диференціальної спектрофотометрії. Як джерело світла використовують ультрафіолетове випромінювання Сонця або Місяця. Метод диференціальної спектрофотометрії передбачає порівняння рівня поглинання на двох довжинах хвиль – 305 нм (поглинання озону) та 325 нм (опорна довжина хвилі). Аналіз поглинання ультрафіолетового випромінювання на аналітичних довжинах хвиль дає можливість оцінити концентрацію озону в атмосфері та його просторовий розподіл. Принцип дії спектрофотометра Добсона пояснюється на рис. Мал. 2.6.2. Клиноподібний фільтр поступово змінює інтенсивність опорного променя, доки обидва оптичних сигнали не зрівноважаться. Барабан, який пересовує клин, обладнаний шкалою в одиницях концентрації озону.

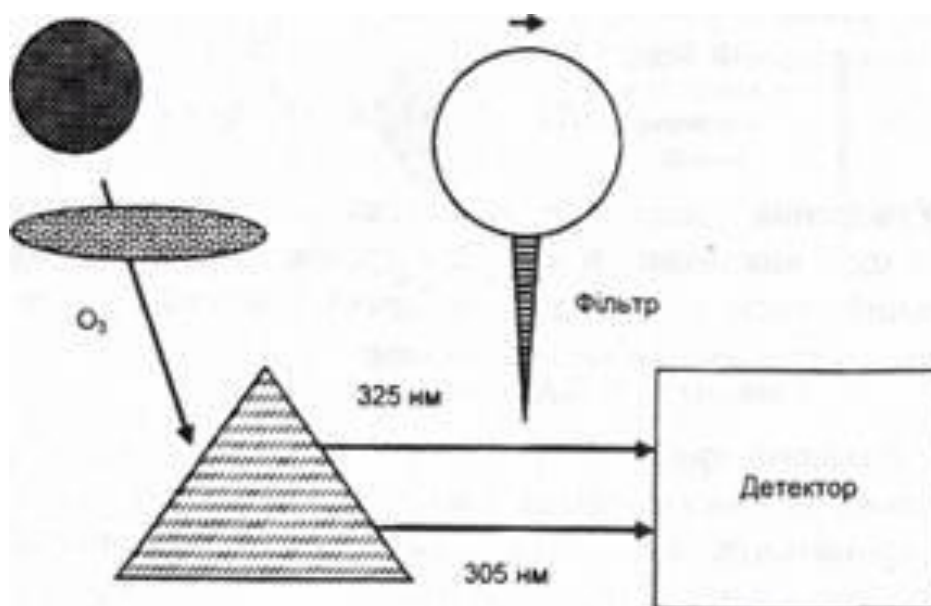


Рис. 2.6.2 - Принцип дії спектрофотометра Добсона [12]

Спектрофотометр Брюера вимірює поглинання природного випромінювання на довжинах хвиль 306,3; 310,1; 313,5; 316,8 та 320,1 нм, що дає можливість позбутися впливу поглинання аерозолей та забруднюючих речовин на результати вимірювань, характерного для спектрофотометра Добсона.

Лідари

Дистанційне зондування озону можна здійснювати шляхом вимірювання поглинання лазерного випромінювання на довжинах хвиль 308 нм та 351 нм озоновим шаром. Порівняння поглинання на цих довжинах хвиль дає можливість оцінити профіль озону в діапазоні висот від 10 до 50 км.

Супутники

До сучасних методів моніторингу озону належить програма GOME (The Global Ozone Monitoring Experiment), яку здійснювали завдяки супутнику ESA ERS-2, що був запущений на полярну орбіту у 1995 році. Метою цієї програми було дослідження стратосферного озону, змін клімату та забруднення атмосфери. У результаті застосування програми GOME стало можливим оцінити вертикальний розподіл концентрації озону вздовж усього шару атмосфери та вивчити динаміку утворення озонової дірки.

Пасивні системи моніторингу озону

Ще один метод передбачає пасивний моніторинг озону за допомогою пластикових пакетів, обладнаних тефлоновим віконцем, через яке озон дифундує з навколишнього середовища. Усередині пакета знаходиться барвник Індиго Кармін, що здатний змінювати своє забарвлення від світло-жовтого до темно-жовтого під впливом озону.

Діапазон концентрацій озону, які можна оцінювати під час застосування пасивного методу, варіює від $<0,045$ ppm до $>0,105$ ppm. У 1999 році добровольці

з 122 країн застосували пасивні контейнери для вимірювання озону у 542 місцях [12].

2.8 Висновки

У цьому розділі розглянуто основні забрудники атмосферного повітря, за якими слідкують усі країни, а саме діоксид сірки (SO_2), твердих часток (PM_{10}), дрібних твердих часток ($\text{PM}_{2.5}$), діоксид азоту (NO_2), оксид вуглецю (CO), озону (O_3) та формальдегід - ще один забрудник, який не увійшов в основний список, але є актуальним. У розділі з'ясовано джерела, з яких кожна з компонент з'являється у повітрі, розглянуто структуру деяких газів, надано інформацію про вплив кожної з компонент забруднення на організм людини та методи виявлення їх у повітрі.

3 СТРУКТУРА СЕНСОРІВ СИСТЕМИ МОНІТОИНГУ

3.1 Сенсор температури, вологості та атмосферного тиску BME280.

BME280 - це комбінований цифровий датчик вологості, тиску та температури на основі перевіреного принципі чутливості виробництва компанії Robert Bosch. Модуль датчика розміщений у надзвичайно компактному корпусі LGA з металевою кришкою слід лише $2,5 \times 2,5 \text{ мм}^2$ з висотою 0,93 мм. Його невеликі габарити і мала потужність споживання дозволяють реалізувати на пристроях, керованих акумуляторами, таких як трубки, GPS-модулі або годинник. BME280 є регістром та продуктивністю.

Датчик вологості забезпечує надзвичайно швидкий час реакції для застосувань для швидкого розуміння контексту і висока загальна точність в широкому діапазоні температур.

Датчик тиску - абсолютний датчик барометричного тиску з надзвичайно високою точністю і роздільна здатність і різко нижчий шум, ніж у сенсора попередньої моделі Bosch Sensortec BMP180.

Вбудований температурний перетворювач оптимізований для найнижчого шуму та найвищої роздільної здатності. Його вихід використовується для компенсації температури датчиків тиску і вологості, а також може бути використовується для оцінки температури навколишнього середовища.

Сенсорний модуль забезпечує інтерфейси SPI та I²C і може застосовуватися, використовуючи напругу живлення V_{DD} в діапазоні 1,71В - 3,6 В для первинного перетворювача V_{DD} та живлення від 1,2 В до 3,6 В для інтерфейсного живлення V_{DDIO} . Вимірювання можуть бути ініційовані оператором або проведені через регулярні інтервали. Коли первинний перетворювач відключений від живлення, споживання струму модулем падає до 0,1 мкА.

BME280 може працювати в трьох режимах живлення :

- режим сну;
- нормальний режим;

- примусовий режим.

З метою адаптації швидкості передачі даних, шуму, часу відгуку та споживання струму до потреб користувача, а можуть бути обрані різноманітні режими перевибірки, режими фільтрування та швидкість передачі даних [13].

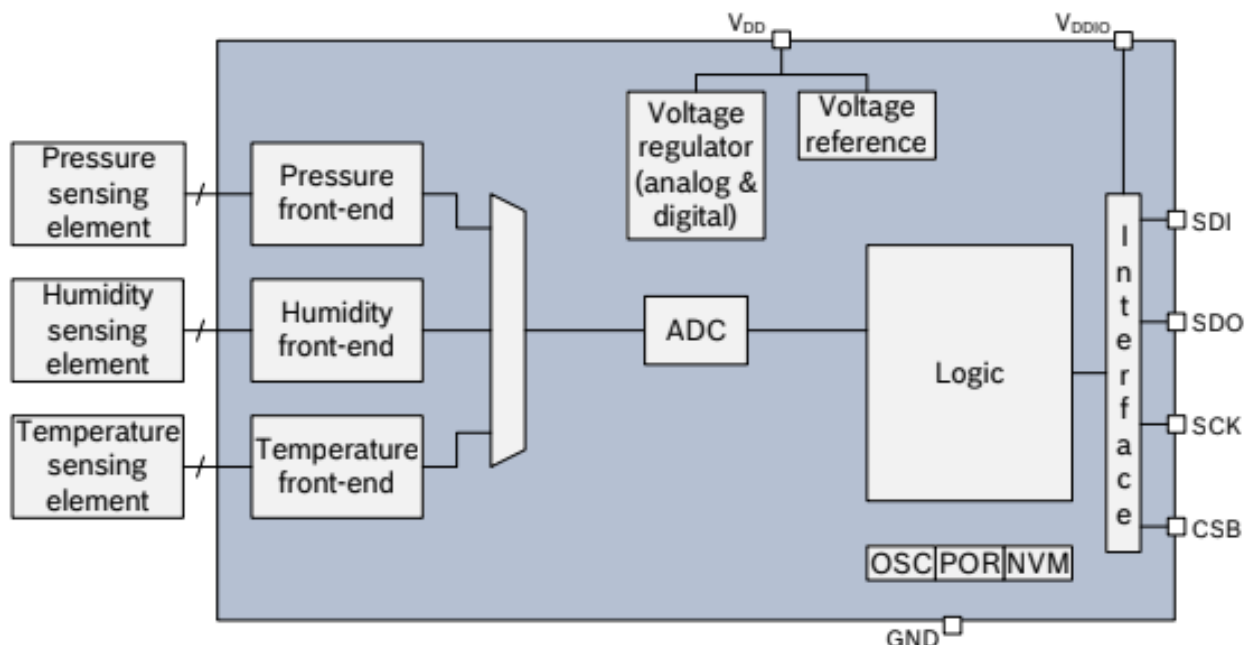


Рис. 3.1.1 - Структурна схема BME280 [13].

Таблиця 3.1.2 - Основні параметри сенсорного модуля BME 280 [13].

Параметри	Символ	Стан	Мін.	Сер.	Макс.	Одиниці
Напруга живлення Внутрішні домени	V_{DD}	пульсація макс. 50 мВпп	1.71	1.8	3.6	V
Діапазон роботи	R_H	Для температур <0 °C та > 60 °C	-40	25	85	°C
			0		100	%RH
Робоча температура сенсора тиску	T_A	Оперативна	-40	25	+85	°C
		повна точність	0		+65	
Діапазон роботи сенсора температур	T	Оперативна	-40	25	+85	°C
		повна точність	0		+65	

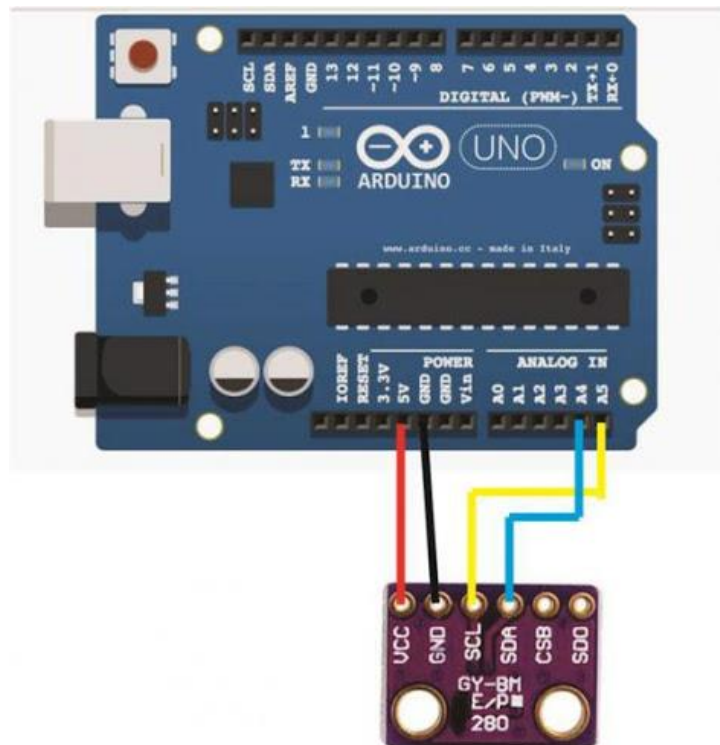


Рис. 3.1.3 - Схема підключення BME280 до ARDUINO UNO [14].

Програмне забезпечення для BME280.

Модуль BME280 дозволяє вимірювати тиск і температуру; додатково він може прочитувати свідчення про вологість, який за замовчуванням вимкнений. При необхідності можна зробити необхідні програмні налаштування сенсора і почати зчитування даних про вологість. Діапазон вимірювання від 0 до 100%. Бібліотека, яка потрібна для роботи з Сенсорний модуль сенсорним модулем, називається `Adafruit_BME280`.

Програмний код подібний до описано в [15] для BMP180, до нього додано функціонал для визначення вологості.

```

01. void printValues() {
02.
03.   Serial.print("Temperature = ");
04.
05.   Serial.print(bme.readTemperature());
06.
07.   Serial.println(" C"); //определение температуры, вывод ее на экран в градусах Цельсия.
08.
09.   Serial.print("Pressure = ");
10.
11.   Serial.print(bme.readPressure() / 100.0F);
12.
13.   Serial.println(" hPa"); //определение давления, вывод его на экран
14.
15.   Serial.print("Humidity = ");
16.
17.   Serial.print(bme.readHumidity());
18.
19.   Serial.println(" %"); //определение влажности в процентах, вывод измеренного значения
    на экран.
20.
21.   Serial.println();
22.
23. }

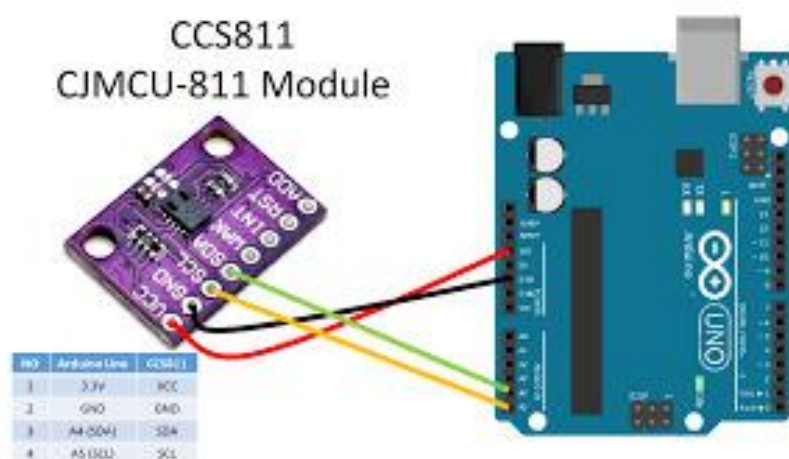
```

Лістинг 3.1.4 - Приклад коду для роботи BME280.

3.2 Сенсор газу CJMCU-8118, до складу якого входять CCS811 та HDC1080.

CJMCU-8118 - чіп системи сенсора газу (SSoC) з датчиком температури і вологості, що використовує технологію виявлення з низьким енергоспоживанням для виявлення загального рівня летючих органічних сполук в приміщенні (TVOCs). У ньому вбудовано «стандартний» метало-оксидний (MOX) сенсор активного нагрівання, а також мікроконтролер, який керує живленням SSoC, зчитує аналогову напругу з первинних перетворювачів та забезпечує вихідний інтерфейс I2C для зчитування виміряних даних мікроконтролером в цифровому коді. Сенсор вимірює концентрацію eCO₂ (еквівалентно розрахована вуглекислота) в межах від 400 до 8192 частин на мільйон (ppm) та концентрація TVOC (загальний рівень летючих органічних сполук) в межах від 0 до 1187

частин на мільярд (ppb). Відповідно до опису, він може виявляти спирти, альдегіди, кетони, органічні кислоти, аміни, аліфатичні та ароматичні вуглеводні. Особливу увагу потрібно приділити факту, що цей первинний перетворювач, як і подібні сенсори ЛОС в газі, має перехресну чутливість до досить широкого спектру забруднюючих компонент. Тому, щоб отримати точні селективні вимірювання, потрібно провести його калібрування за певною компонентою з використанням відповідних калібрувальних сумішей. Однак для екологічних застосувань інтегральний показник дає потрібне уявлення про загальні тенденції та порівняння. Сенсор має інтегрований контролер (MCU) і вбудовану можливість обробки первинних результатів вимірювання без втручання програмної частини розробника аналізатора, може забезпечити еквівалентний рівень індексу діоксиду вуглецю або загальної кількості летючих органічних сполук (TVOC). У той же час, можливе використання окремих сенсорів газу і відповідних рішень з використанням потенціалу вбудованого MCU [16]. CCS811 підтримує декілька режимів вимірювання з інтервалом між вимірами кожні 250 мілісекунд, кожні 1 с, 10 с, 60 с.



Мал.3.2.1 - Схема підключення CMCU-8118 до ARDUINO UNO [17]

Сенсорний модуль якості повітря з цифровим виходом CCS811

CCS811 Digital Gas Sensor for Monitoring Indoor Air Quality - цифровий газовий сенсор, що має низьку потужність споживання, інтегрує в собі датчик газу з оксиду металу (MOX) для виявлення на широкий асортимент летких органічних сполук (ЛОС - VOC) для приміщень. Моніторинг якості повітря забезпечується з використанням мікроконтролера (MCU), що включає в себе аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) та I²C інтерфейс. CCS811 заснований на технології, що дає дуже надійне рішення для газових датчиків, дуже швидкий час циклу та значне зниження середньої потужності споживання. Вбудований модуль управління керує режимами роботи датчиків та необмеженими даними датчиків, вимірюваними під час виявлення ЛОС. I²C цифровий інтерфейс значно спрощує апаратне та програмне забезпечення дизайну, що дозволяє швидше виходити на ринок.

Виготовлений за технологією мікро-електро-механічних систем (MEMS) на основі монокристалічного кремнію Si газовий сенсор ЛОС використовує нагрівальну платформу, покриту прошарком з напівпровідниковим матеріалом з низькою електропровідністю, селективно чутливих до забруднюючих компонентів. Коли датчик потрапляє в атмосферу газу, то провідність змінюється у міру виявленої концентрації компоненти у повітрі. Чим вище концентрація компоненти в суміші газі, тим вища провідність прошарку. Використання простої електронної схеми обробки дозволяє перетворити зміну провідності прошарку, відповідну до концентрацію певної складової газової суміші, у відповідний вихідний сигнал.

CCS811 підтримує інтелектуальні алгоритми для обробки вимірюваного сигналу первинного перетворювача і для наступного виведення значення TVOC або еквівалентного CO₂ (eCO₂) в цифровому послідовному коді (I²C інтерфейс). CCS811 підтримує кілька режимів вимірювання, які були оптимізовано для низької енергоспоживання під час активного датчика режим вимірювання та простою, що продовжує термін служби акумулятора в портативному режимі

додатки. CCS811 доступний також у 10-провідному 2,7 мм х 4,0 мм х 1,1 мм високому корпусі LGA [18].

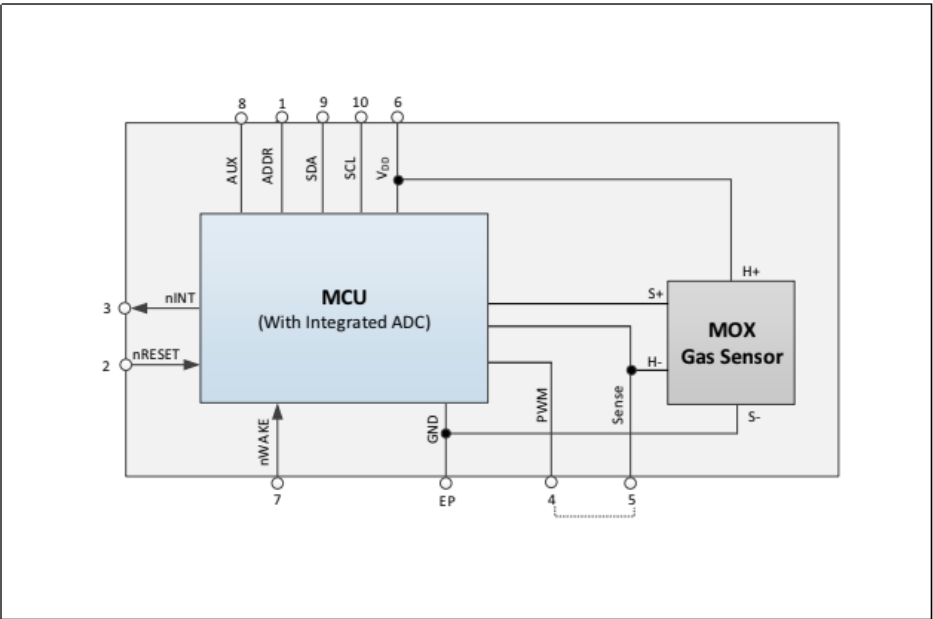


Рис. 3.3.2 - Блок-схема CCS811[18].

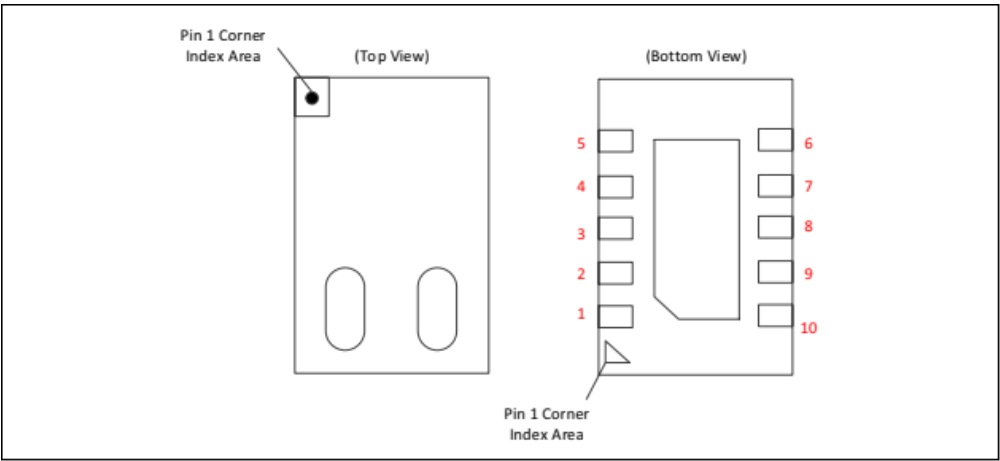


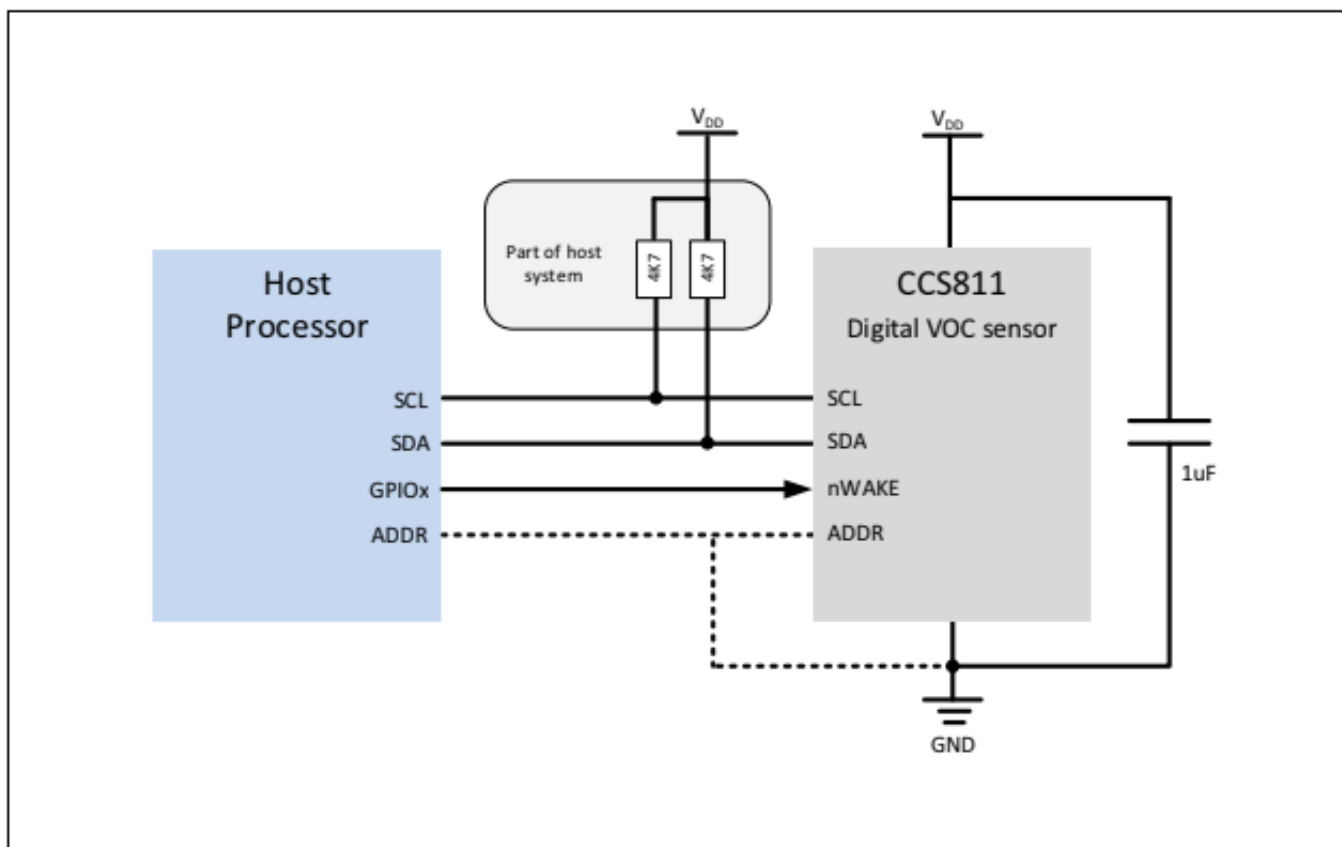
Рис. 3.3.3 - Pin діаграма корпусу CCS811 [18].

Таб.3.3.4 - Призначення контактів CCS811 [18].

Номер	Назва	Опис
1	ADDR	Біт вибору однієї адреси, щоб дозволити вибір альтернативної адреси <ul style="list-style-type: none"> • Якщо ADDR низька, 7-бітна I²C-адреса дорівнює

Продовження таб.3.3.4

		<p>десятковий 90 / hex 0x5A</p> <ul style="list-style-type: none"> Коли ADDR висока, 7-бітна I²C-адреса становить десятковий 91 / hex 0x5B.
2	nRESET	<p>nRESET - активний низький вхід, і він за замовчуванням підтягується до VDD. nRESET є необов'язково, але зовнішнє підтягування 4,7 кОм та / або роз'єднання штифта nRESET може бути</p> <p>Необхідно уникнути помилкових шумових скидань.</p>
3	nINT	<p>nINT - активний низький необов'язковий вихід. Систему CCS811 вона низько стягується, щоб вказати кінець вимірювання або встановлено порогове значення.</p>
4	PWM	<p>Вихід ШІМ драйвера нагрівача. Піни 4 і 5 повинні бути з'єднані між собою.</p>
5	Sense	<p>Повернення струму нагрівача. Піни 4 і 5 повинні бути з'єднані між собою.</p>
6	V _{DD}	Напруга живлення
7	nWAKE	<p>nWAKE - це активний низький вхід, який повинен бути затверджений хостом перед транзакцією I²C і утримуватись низьким протягом усього часу.</p>
8	AUX	<p>Додатковий пін AUX, який можна використовувати для зондування температури навколишнього середовища із зовнішнім резистором NTC. Якщо не використовується, залиште без зв'язку.</p>
9	SDA	<p>ПД-контакт використовується для даних I²C. Слід підтягнути до V_{DD} з резистором</p>
10	SCL	<p>пін SCL використовується для годинника I²C. Слід підтягнути до V_{DD} з резистором</p>
EP	Exposed Pad	Підключіться до землі



Мал. 3.3.5 - Рекомендована схема застосування[18]

1. «Підтягуючі» резистори для SCL і SDA, які, як передбачається, будуть частиною приймаючої системи.

2. Пін AUX на CCS811 можна використовувати для додаткового зондування температури навколишнього середовища; якщо його не використовувати - залишати не підключеним.

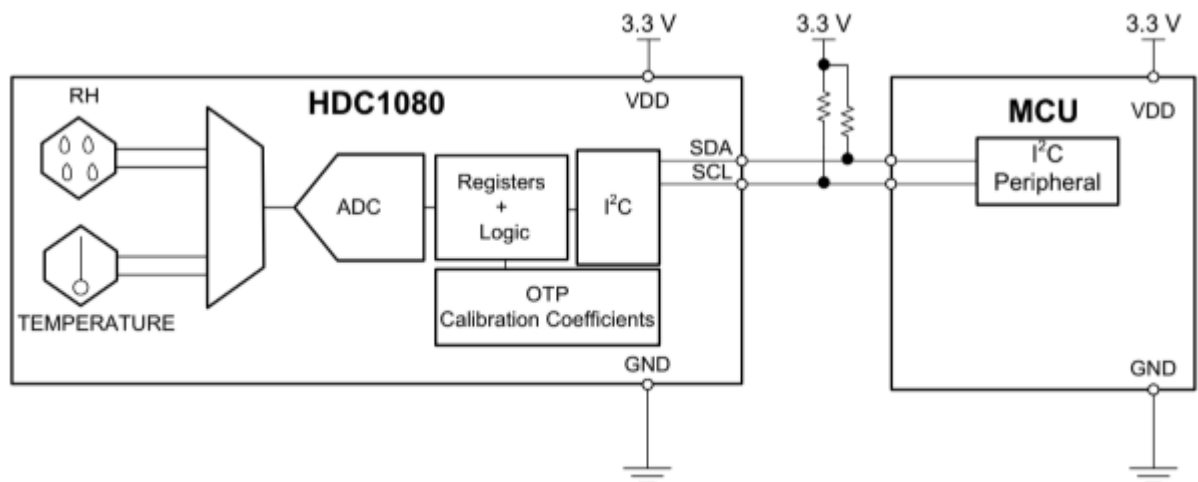
3. Якщо живлення не викликає проблем, nWake може бути підключений до землі, якщо на хост-процесорі не буде запасного GPIO.

Таб. 3.3.6 - Електричні параметри живлення CCS811 [18].

Символ	Параметри	Мін.	Макс.	Одиниці
V_{DD}	Напруга живлення	1.8	3.6	V
I_{DD}	Струм живлення		30	мА
П	Споживання енергії		60	мВт

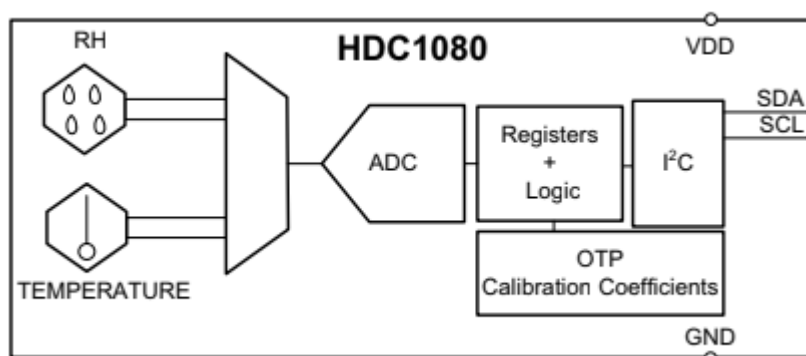
HDC1080

HDC1080 - цифровий датчик вологості з вбудованим датчиком температури, який забезпечує чудову точність вимірювання при дуже низькій потужності. HDC1080 працює в широкому діапазоні поставок і є низькою вартістю, низькою потужністю, альтернативою конкурентним рішенням у широкому діапазоні загальних застосувань.



Мал.3.3.7 -Типове застосування. [19]

HDC1080 - цифровий сенсор вологості з вбудованим перетворювачем температури, який забезпечує чудову точність вимірювання при дуже низькій потужності споживання. Сенсорний елемент HDC1080 розміщений у верхній частині пристрою. Результати вимірювань можна зчитати через сумісний з I2C інтерфейс. Роздільна здатність корелює з часом виконання одиничного вимірювання і може становити 8, 11 або 14 біт для вологості; 11 або 14 біт для температури.



Мал.3.3.8 - Діаграма функціональних блоків HDC1080 [19]

- Споживання енергії HDC1080.

Однією з ключових особливостей HDC1080 є його низьке енергоспоживання, що робить пристрій придатним в додатках для довготривалого збереження заряду акумулятора живлення. У цих програмах HDC1080 проводить більшу частину часу уві сні режим: при типовому 100nA споживаного струму в режимі сну усереднене споживання струму мінімальне. Його низьке споживання в режимі вимірювання мінімізує будь-яке самонагрівання.

- Моніторинг напруги HDC1080.

HDC1080 контролює рівень напруги живлення та вказує, коли напруга живлення HDC1080 менше ніж 2,8 В. Ця інформація корисна в системах, що працюють на акумуляторах, щоб повідомити користувача про заміну акумулятор. Про це повідомляється у полі BTST (адреса регістра 0x02: біт), яке оновлюється після POR та після кожного запиту на вимірювання.

- Нагрівач HDC1080.

Нагрівач - це інтегрований резистивний елемент, який можна використовувати для перевірки функціональності сенсора або видалення конденсату з його корпусу. Нагрівач можна активувати за допомогою HEAT, біт 13 в Реєстрі конфігурації. Нагрівач допомагає зменшити накопичене зміщення після тривалого терміну експлуатації первинного перетворювача при високій вологості. Після включення обігрівач увімкнено лише в режимі вимірювання. Для прискорення підвищення температури пропонується збільшити швидкість

вимірювання.

Функціональні режими пристрою HDC1080:

HDC1080 має два режими роботи: режим сну і режим вимірювання. Після ввімкнення живлення HDC1080 знаходиться в режимі сну. У цьому режимі HDC1080 чекає введення I²C, включаючи команди для налаштування часу перетворення, зчитування стану акумулятора, запуску вимірювання та зчитування вимірювань. Після того як він отримає команду для запуску вимірювання, HDC1080 переходить з сплячого режиму в режим вимірювання. Після завершення вимірювання HDC1080 повертається до режиму сну [19].

3.3 BMP180

BMP180 - це сумісний з функціоналом наступник BMP085, нового покоління високоточних цифрових датчиків тиску для споживчих додатків. Електроніка BMP180 ультра низької потужності та низької напруги оптимізована для використання в мобільних телефонах, КПК, GPS-навігаційних пристроях та зовнішньому обладнанні. З низькою висотою шуму всього 0,25 м при швидкому часу перетворення, BMP180 пропонує чудові показники. Інтерфейс I²C дозволяє легко інтегрувати систему з мікроконтролером.

BMP180 заснований на п'єзорезистивній технології для надійності ЕМС, високої точності та лінійності, як і також довгострокової стабільності.

Спираючись на досвід понад 400 мільйонів датчиків тиску на місцях, BMP180 продовжує нову генерацію мікрообробних датчиків тиску.

Таб.3.3.1 - Основні параметри BMP180. [20]

Параметри	Символ	Умова	Мін.	Сер.	Макс.	Одиниці
Оптимальна температура	T _A	Оперативна	-40		+85	°C
		повна точність	0		+65	
Напруга живлення	V _{DD}	пульсація макс. 50mVpp	1.8	2.5	3.6	V
			1.62	2.5	3.6	

Загальна схема функцій та застосувань

BMP180 складається з п'єзорезистивного датчика, аналого-цифрового перетворювача та блоку управління з E2PROM та послідовним інтерфейсом I2C. BMP180 забезпечує некомпенсовану величину тиску і температура. E2PROM зберігає 176 біт окремих даних калібрування. Це використовується для компенсації зміщення, залежності від температури та інших параметрів датчика [20].

UP = дані тиску (роздільна здатність 16 - 19 біт),

UT = температурні дані (роздільна здатність 16 біт)

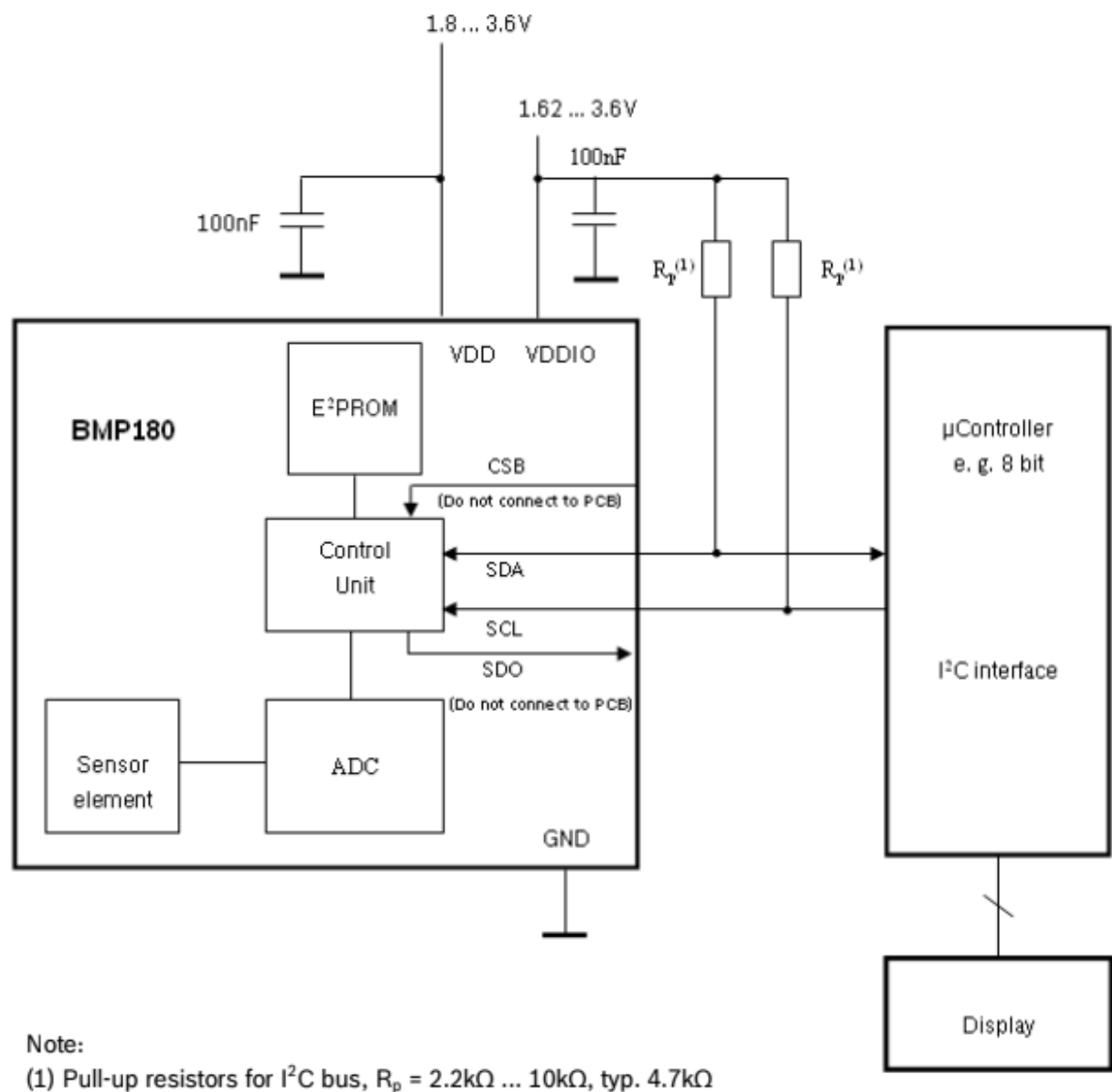


Рис. 3.3.2 - Типова схема застосування [20]

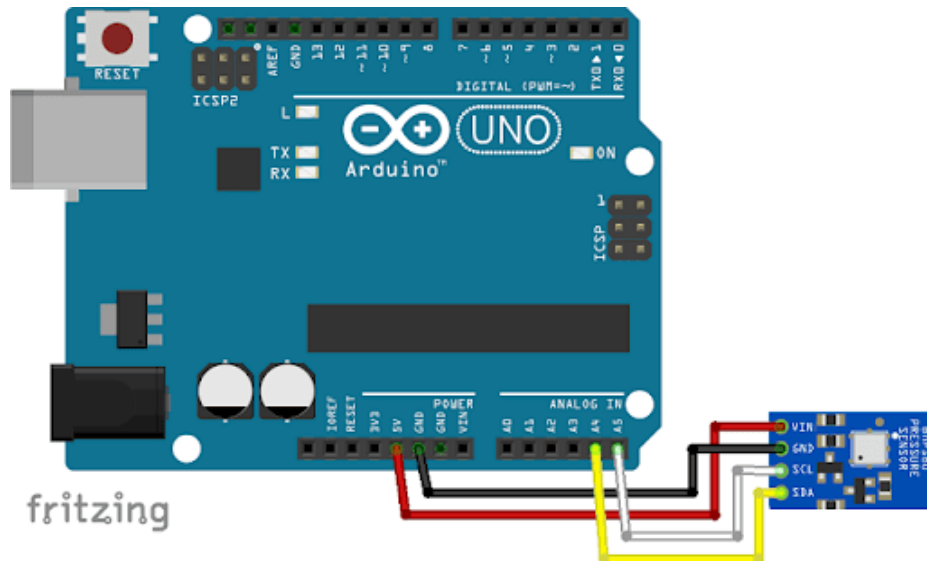


Рис. 3.3.3 - Схема підключення BMP180 до ARDUINO UNO. [21]

Приклад програмного забезпечення для BMP180

Для роботи з датчиком BMP180 існують різні бібліотеки, що спрощують роботу. До них відносяться SFE_BMP180, Adafruit_BMP085.

Перший пробний скетч буде змушувати датчик прочитувати значення тиску і температури. В першу чергу в коді потрібно підключити всі бібліотеки і формувати роботу датчика. Для визначення тиску потрібно спочатку дізнатися температуру. Для цього використовується наступний елемент коду [22]:

```

01.  status = pressure.startTemperature(); // Считываются данные с датчика о
    // температуре
02.
03.  if(status!=0) {
04.
05.      delay(status); // Ожидание
06.
07.      status = pressure.getTemperature(T); // Сохранение полученных данных о
    // температуре
08.
09.      if(status!=0) {
10.
11.          Serial.print("Temperature: "); // Выведение на экран слова «Температура»
12.
13.          Serial.print(T,2); // Вывод на экран значения температуры.
14.
15.          Serial.println("deg C, "); // Печать символа градуса Цельсия.

```

Лістинг 3.3.4 - Приклад коду для роботи BMP180

Потім потрібно отримати інформацію про атмосферний тиск.

```

01.  status = pressure.startPressure(3); // происходит считывание давления
02.
03.  if(status!=0) {
04.
05.      delay(status); // Ожидание
06.
07.      status = pressure.getPressure(P,T); // получение давления, сохранение
08.
09.      if(status!=0) {
10.
11.          Serial.print("Absolute pressure: "); // Вывод на экран слов «Атмосферное
              давление»
12.
13.          Serial.print(P,2); // Вывод на экран значения переменной mBar
14.
15.          Serial.print(" mbar, "); // Вывод на экран текста "mBar"
16.
17.          Serial.print(P*0.7500637554192,2); // вывод на экран значения в mmHg
              (мм.рт.ст.)
18.
19.          Serial.println(" mmHg"); // вывод на экран единицы измерения давления "mmHg"
              (мм. Рт.ст.).

```

Лістинг3.3.5 - Приклад коду для роботи BMP180.

3.4 ARDUINO UNO

Загальні відомості про мікроконтрольний пристрій МПС на платі Arduino UNO.

Плата Arduino Uno – це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328 (рис. 3.4.1 і рис. 3.4.2). У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів / виходів (з них 6 виводів можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішнього схемного програмування (ICSP) і кнопка скидання. Для початку роботи з МПС необхідно подати живлення від AC / DC-адаптера, або підключити його до комп'ютера за допомогою USBкабелю. Для роботи з платою Arduino Uno в операційній системі Windows необхідно встановити на комп'ютер інтегроване середовище розробки Arduino – Arduino IDE (Integrated Development Environment). [23]

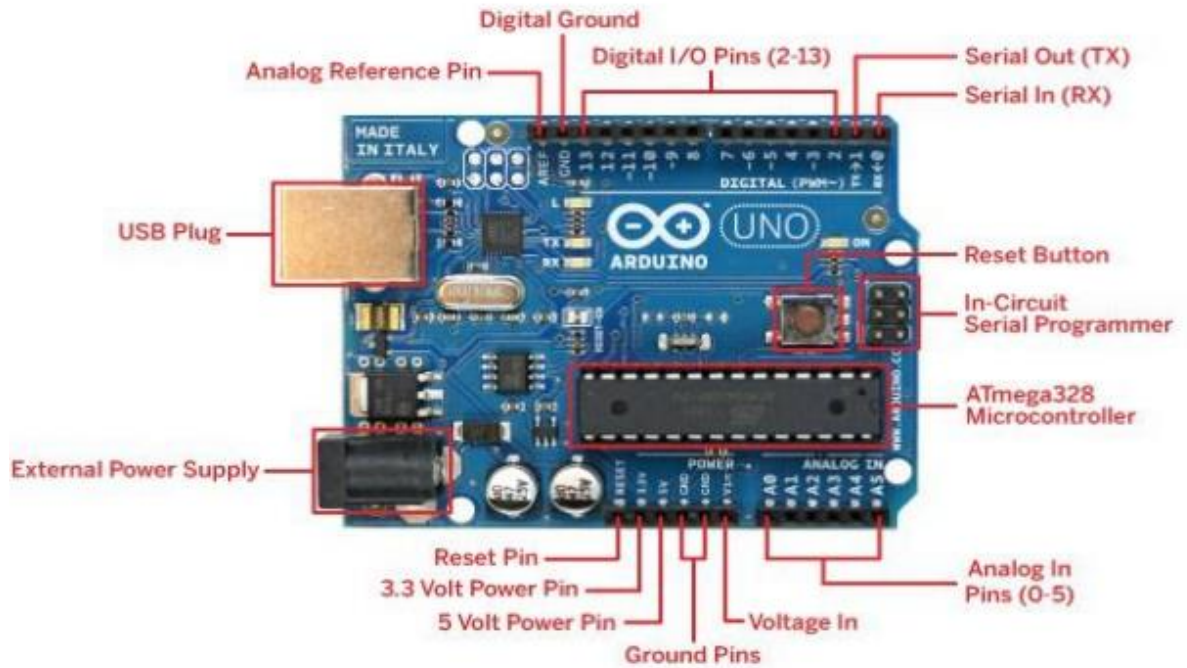
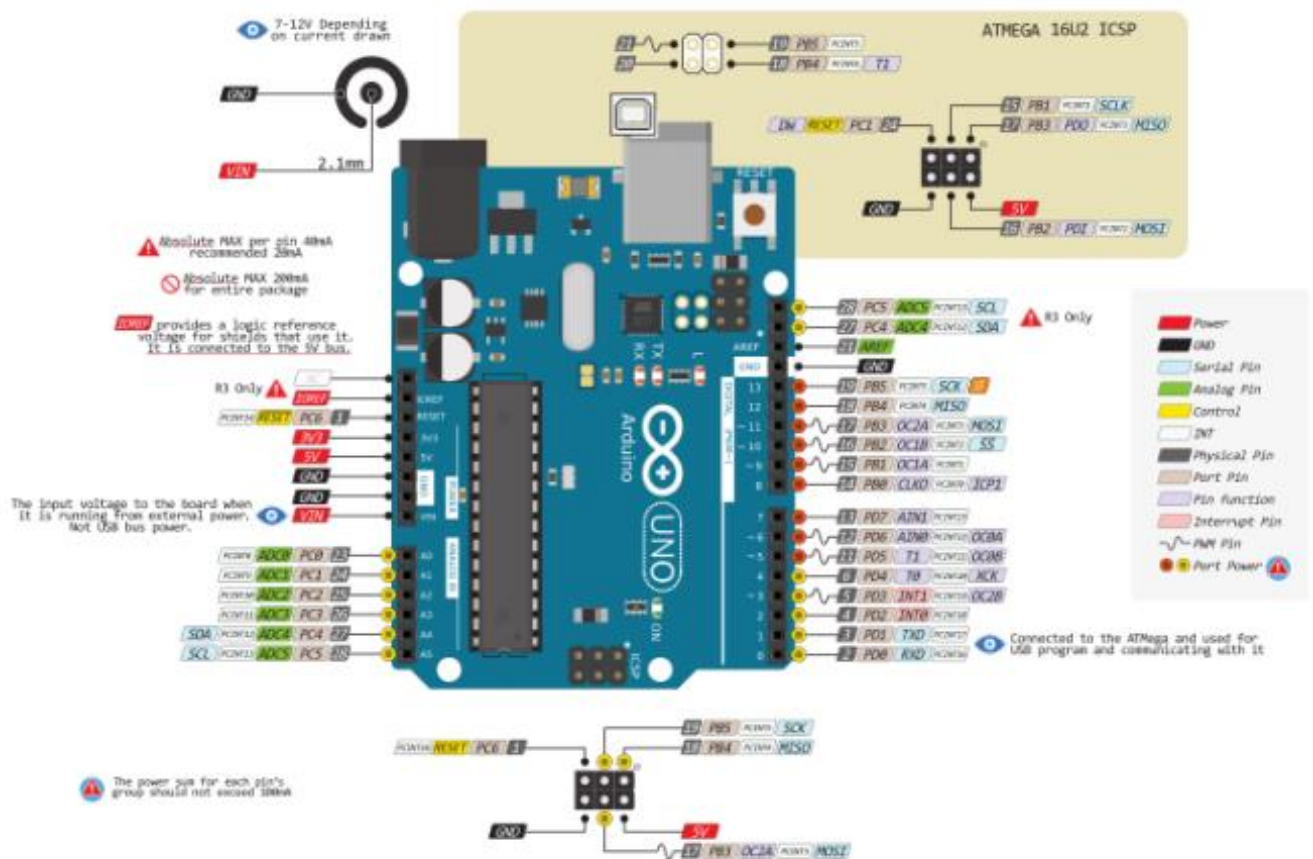


Рис. 3.4.1 - Опис елементів плати Arduino UNO [23]



Мал. 3.4.2 - Призначення виводів плати Arduino UNO [23].

Характеристики плати Arduino UNO:

Мікроконтролер ATmega328

Робоча напруга 5В

Напруга живлення (рекомендована) 7-12В

Напруга живлення (гранична) 6-20В

Цифрові входи / виходи 14 (6 у якості ШІМ-виходи)

Аналогові входи 6

Максимальний струм одного виведення 40 мА

Максимальний вихідний струм виводу 3.3В 50 мА

Flash-пам'ять 32 КБ (ATmega328), з яких 0.5 КБ загрузчик

SRAM 2 КБ (ATmega328)

EEPROM 1 КБ (ATmega328)

Тактова частота 16 МГц

Входи і виходи плати Arduino UNO:

– Послідовний інтерфейс: виходи 0 (RX) і 1 (TX), що використовуються для отримання (RX) і передачі (TX) даних по послідовному інтерфейсу. Ці виводи з'єднані з відповідними виводами мікросхеми ATmega8U2 на платі Arduino UNO, яка виконує роль перетворювача USB-UART.

– Зовнішні переривання: виводи 2 і 3, які можуть служити джерелами переривань, що виникають при фронті, спаді або при низькому рівні сигналу на цих виводах.

– ШІМ-виводи 3, 5, 6, 9, 10 і 11 – інтерфейс SPI: висновки 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).

– Світлодіод: 13 представляє вбудований світлодіод, приєднаний до висновку 13. При відправці значення HIGH світлодіод включається, при відправці LOW - вимикається.

– 6 аналогових входів (A0 - A5), кожен з яких може уявити аналогову напругу у вигляді 10-бітного числа (1024 різних значення). За замовчуванням, вимір напруги здійснюється щодо діапазону від 0 до 5 В.

На платі Arduino UNO розташовані ще кілька додаткових виводів:

– Reset: формування низького рівня (LOW) на цьому виводу призведе до перезавантаження мікроконтролера. Зазвичай цей висновок служить для функціонування кнопки скидання на платах розширення.

– 3V3: напруга на даному виводі +3.3 В, що генерується вбудованим регулятором на платі. Максимальне споживання струму 50 мА. Від цього виводу можуть житися деякі апаратні модулі.

– 5V: напруга на даному виводу +5 В, що генерується вбудованим регулятором на платі Arduino UNO.

– GND: земля, або загальний мінус. Цей вивід є другим обов'язковим виводом для будь-якого іншого пристрою.

– Vin: використовується для подачі живлення від зовнішнього джерела в відсутності живлення 5 В від роз'єму USB, наприклад, коли необхідно запустити плату Arduino окремо від комп'ютера.

Крім цього, деякі з аналогових входів мають додаткові функції:

– TWI / I2C: вивід A4 або SDA і вивід A5 або SCL.

– AREF: опорна напруга, на якому працює один з вузлів мікроконтролера – аналоговоцифровий перетворювач, який перетворює напругу в вольтх у числа.

Рівень напруги на виводах обмежений 5В, максимальний струм, який може віддавати або споживати один висновок, становить 40 мА. Всі виводи пов'язані з внутрішніми налаштовуються резисторами номіналом 20-50 кОм.

Зовнішнє живлення (не від USB) може подаватися через роз'єм Vin або роз'єм XP14 плати розширення. Платформа може працювати при зовнішній напрузі від 6 В до 20 В, але рекомендується використовувати напругу в діапазоні 7 - 12 В для запобігання перегріву або нестабільної роботи.[23]

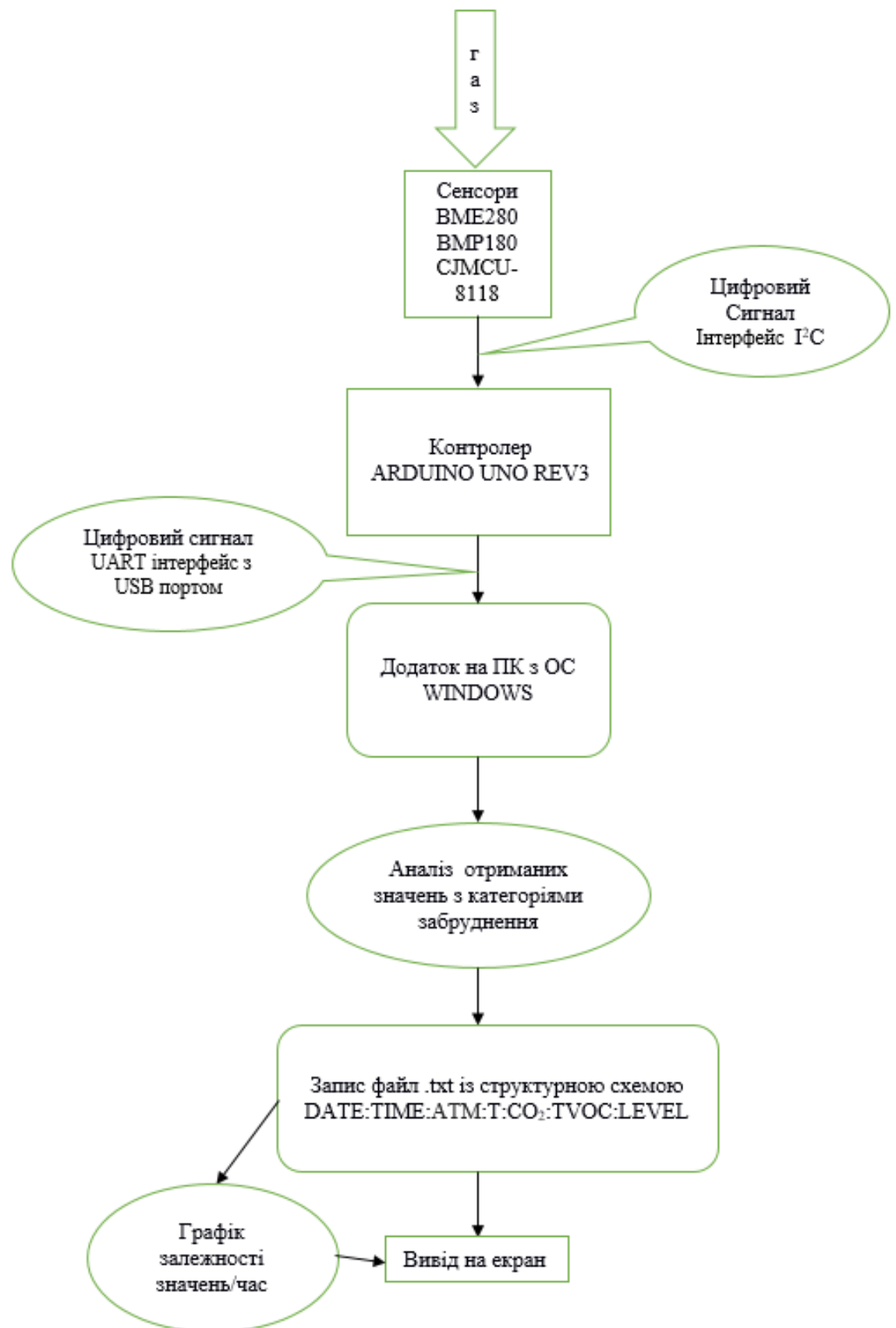
3.5 Схема роботи газоаналізатора.

Із описаних вище сенсорів та контролера ARDUINO UNO ми можемо отримати данні про забруднення. Оскільки пам'яті на ARDUINO не вистачить на довге вимірювання, а їх треба аналізувати та моніторити, тому було вирішено зчитувати

інформацію і передавати її кожні 15 сек на ПК з ОС WINDOWS для обробки інформації.

Обробка інформації включає в себе порівняння отриманих даних з таблиці рівня забруднення, з яких ми отримаємо оцінку забруднення, а потім записуємо всю інформацію у файл *.txt за структурною схемою [DATE:TIME:ATM:T:CO₂:TVOC:LEVEL]. Далі з цього файлу робимо графіки моніторингу залежності забрудник/час, щоб можна було аналізувати результати за деякий час.

Після обробки інформації виводимо її на екран монітора, а для цього буде зроблений невеликий інтерфейс. Блок - схема всього описаного пристрою наведена нижче.



3.5.1 - Блок-схема. Робота газоаналізатора

3.6 Висновок.

Для виготовлення газоаналізатора в роботі вибрано наступні компоненти: комбінований цифровий сенсор вологості, тиску та температури BME280, високоточний сенсор тиску BMP180 з цифровим послідовним інтерфейсом, цифровий газовий датчик CSS811, цифровий датчик вологості з вбудованим датчиком температури HDC1080 та плату Arduino Uno. Розроблена блок-схема системи моніторингу, схеми підключення окремих компонентів до мікроконтролера, написані програми підключення окремих сенсорних модулів. Ці компоненти були обрані завдяки їх технічним характеристикам, функціональності, вихідним інтерфейсам, доступності на вітчизняному ринку та за відношенням ціни до якості.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ.

У роботі досліджено задачу кількісної та якісної оцінок основних параметрів (температури, вологості, абсолютного тиску), ступеню забруднення атмосферного повітря летючими органічними компонентами (параметр TVOC) та визначення еквівалентного рівня діоксиду вуглецю (параметр eCO_2). Актуальність даної проблеми викликана екологічним станом атмосферного повітря в Україні на момент написання роботи.

В першому розділі дипломної роботи розглянуто нормативну базу в сфері отримання та аналізу інформації про поточний стан атмосферного повітря, проаналізовано відмінності в підходах до індексації якості повітря та систем його моніторингу в Європі та Україні, визначено їх недоліки та переваги.

У другому розділі розглянуто методики визначення вмісту основних забрудників повітря та проведено аналіз структурних схем аналізаторів, розглянуто особливості їх ключових конструктивних елементів, проведено порівняння конструкції і архітектури, наведено окремі принципові електронні схеми.

В третьому розділі розглянуто сучасні типи мікроелектронних первинних перетворювачів фізичних параметрів атмосферного повітря, його хімічного складу та механічних забрудників. Проаналізовано технічні та метрологічні параметри сучасних сенсорних пристроїв з оглядом на відповідність до сучасних вимог, норм, типів інтерфейсів. Систему запропоновано реалізувати на основі сучасної компонентної бази - мікроелектронних сенсорів з цифровим вихідним інтерфейсом:

- сенсора температури, вологості та атмосферного тиску BME280;
- мікромеханічного сенсора абсолютного тиску моделі BMP180 (висоти над рівнем моря) з роздільною здатністю 6 кПа (відповідає зміні висоти 0.5m) в режимі ультра-низького споживання та 2 hPa кПа (відповідає зміні висоти 0.17m) в режимі прецизійного вимірювання;

- сенсора комплексного визначення якості повітря Adafruit CCS811 з можливістю визначення рівня летючих органічних сполук та ефективного рівня CO₂ (CCS811 - Adafruit CCS811 Air Quality Sensor Breakout - VOC and eCO₂) з додатковим вбудованим блоком прецизійного сенсора температури і вологості HDC1080. Для проектування системи моніторингу використано контролер ARDUINO UNO. В роботі запропоновано структурну схему системи і наведено схему підключення кожного з компонентів. Також у третьому розділі розроблено програмний код у програмному середовищі Arduino IDE для окремих компонентів системи моніторингу, проведено його налаштування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. Словник – довідник з екології : навч.-метод. посіб. /О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. – К.: ПП Вишемирський В. С., 2013. – 225 с. ISBN: ?
2. Parliament Q&As / Dr Vivian Balakrishnan: Ministry of the Environment, 2012. — DOI: ?
3. UA-Energy.org Моніторинг якості повітря в Україні (Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : <https://ua-energy.org/uk/posts/yak-ukraina-vymiriuiie-zabrudnennia-povitria> Дата доступу: 04-06-2020
4. Sven Lund. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants / WHO Regional Office for Europe, Inc., 2009. — 484p. — ISBN 978-92-890-0213-4
Режим доступу до ресурсу :<https://drive.google.com/open?id=1JvDw2E0PLCL-eK8L7hiTkIO1wGmHTq6> Дата доступу: 04-06-2020
5. С. К. Огородникова. Справочник нефтехимика / С. К. Огородникова. – Л.: Химия, Т.2. 1978. – 592 с. ISBN: ?
6. CRC Handbook of Chemistry and Physics / D. R. Lide. — Boca Raton (FL) : CRC Press, 2005. — 2656 p. — ISBN 0-8493-0486-5.
7. pidruchniki.com Вимірювання діоксиду сірки SO₂ (Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : https://pidruchniki.com/80348/ekologiya/vimiryuvanny_a_dioksidu_sirki Дата доступу: 04-06-2020
8. Ілюстрація розмірів PM₁₀ та PM_{2.5}(Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : <https://seetheair.files.wordpress.com/2015/09/>
Дата доступу: 04-06-2020
9. ecosentr.com.ua Коротко про PM₁₀ і PM_{2.5} (Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : <http://ecosentr.com.ua/2018/07/23>
Дата доступу: 04-06-2020
10. pidruchniki.com Вимірювання оксиду вуглецю CO (Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : https://pidruchniki.com/80346/ekologiya/vimiryuvanny_a_yakosti_povitrya Дата доступу: 04-06-2020

11. Разумовский С. Д., Заиков Г. Е. Озон и его реакции с органическими соединениями (кинетика и механизм) / Разумовский С. Д., Заиков Г. Е.: М.: Наука, 1974. — 322 с. ISBN: ?
12. pidruchniki.com Вимірювання атмосферного озону (Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : https://pidruchniki.com/80354/ekologiya/vimiryuvanny_a_atmosfernogo_ozonu Дата доступу: 04-06-2020
13. Data sheet BME280 (Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : <https://drive.google.com/file/>
Дата доступу: 04-06-2020
14. Ілюстрація схеми підключення BME280 до ARDUINO UNO(Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : <http://arduino.ru/sites/default/files/u19266/bmp820-01.jpg> Дата доступу: 04-06-2020
15. arduinomaster.ru Датчики давления Arduino bmp280, bmp180, bme280 (Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/datchiki-atmosfernogo-davleniya-bmp280-bmp180-bme280/#i>
Дата доступу: 04-06-2020
16. Офіційний сайт 1topshop.org.ua (Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : <https://1topshop.org.ua/p937945303-ccs811-hdc1080-dioksid.html> Дата доступу: 04-06-2020
17. Ілюстрація схеми підключення CJMCU-8118 до ARDUINO UNO. (Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : <https://www.google.com/> Дата доступу: 04-06-2020
18. Data sheet CCS811 Ultra-Low Power Digital Gas Sensor for Monitoring Indoor Air Quality (Електронний ресурс)
Режим доступу до ресурсу : <https://drive.google.com/file/d/1QTJ4xEIbf7WYDAv4kLJqyqLazldV6n79/> Дата доступу: 04-06-2020
19. Data sheet HDC1080 Low Power, High Accuracy Digital Humidity Sensor with Temperature Sensor (Електронний ресурс)

- Режим доступу до ресурсу : https://drive.google.com/file/d/1Hlnt3gT73TqZp_dqhRKpLM5r_mMVBywX/view?usp=sharing Дата доступу: 04-06-2020
20. Data sheet BMP180 (Електронний ресурс)
 Режим доступу до ресурсу : <https://drive.google.com/file/d/1MEAOj3CWC1VENDMPRRkScSU4cCRjyHQj/view?usp=sharing> Дата доступу: 04-06-2020
21. randomnerdtutorials.com Guide for BMP180 Barometric Sensor with Arduino (Електронний ресурс)
 Режим доступу до ресурсу : <https://randomnerdtutorials.com/guide-for-bmp180-barometric-sensor-with-arduino/> Дата доступу: 04-06-2020
22. arduinomaster.ru Датчики давления Arduino bmp280, bmp180, bme280 (Електронний ресурс)
 Режим доступу до ресурсу : <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/datchiki-atmosfernogo-davleniya-bmp280-bmp180-bme280/#i> Дата доступу: 04-06-2020
23. В. В. Шликов Мікропроцесорна техніка: Практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 163 «Біомедична інженерія» та 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»/ В. В. Шликов; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 144 с. (Електронний ресурс)
 Режим доступу до ресурсу : https://drive.google.com/file/d/117AvmKwxZe37hTTOj_NaN6ej02O-FyUX/view?usp=sharing Дата доступу: 04-06-2020
24. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони: ГОСТ 12.1.005-88.
 Режим доступу до ресурсу : <https://drive.google.com/file/d/1t9J2jokxwSFFxlWBvkzwZiLvfeUZ74-Z/view?usp=sharing> Дата доступу: 04-06-2020
25. Яковенко В.В. Система збору, збереження та відображення інформації про навколишнє середовище/ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»/кер. доц. к.ф.м. наук_Заворотний В.Ф. Виконавець: Яковенко В.В: Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 65с.
 Режим доступу до ресурсу : https://drive.google.com/file/d/1hmsbaXkVj5YA_Q0EWlwBSPJInsTAA2Gu/view?usp=sharing Дата доступу: 04-06-2020